

Chování impaktoru nohy při zkouškách ochrany chodců

Disertační práce

Studijní program: P2302 – Stroje a zařízení

Studijní obor: 2302V010 – Konstrukce strojů a zařízení

Autor práce: Ing. Miroslav Pažout

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Pavel Němeček

Liberec 2017

Legform Impactor Behaviour during Pedestrian Protection Tests

Dissertation

Study programme: P2302 – Machines and Equipment

Study branch: 2302V010 – Machine and Equipment Design

Author: Ing. Miroslav Pažout

Supervisor: prof. Dr. Ing. Pavel Němeček

Liberec 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou disertační práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo. Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé disertační práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li disertační práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Disertační práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé disertační práce a konzultantem. Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mne při studiu trpělivě podporovali, zejména svým blízkým.

Vedoucímu mé dizertační práce, panu prof. Dr. Ing. Němečkovi, patří vřelé díky za rady při organizaci studia i osobní přístup.

V neposlední řadě chci poděkovat firmě AUREL CZ s. r. o., v jejíž zkušebně výzkum probíhal.

Anotace

Tato práce se v teoretickém úvodu zabývá stručným přehledem historie pasivní bezpečnosti včetně ochrany chodců a statistickými důvody pro zkoušky pasivní bezpečnosti. Dále jsou popsány předpisy, které se ochranou chodců zabývají a určují podmínky testů. Práce řeší testy impaktory, tedy od rozměření zón, do kterých impaktor naráží, přes podmínky testu až po výstup ze zkoušek.

Tím se dostává k výzkumné části, jejíž cílem je popsat chování relativně složitého impaktoru Flex PLI na vozidle. Porovnány a popsány jsou testy na dvou konceptech automobilu. V práci je vysvětlena možnost přístupu k výsledkům klasickým náhledem pouze na maximální hodnoty a navržena metodika jejich možné predikce. Také je ovšem rozebráním komplexnějších informací z více snímačů najednou poukázáno na nevýhody omezení se pouze na maxima. Je vysvětlen průběh nárazu a chování impaktoru nohy během něho. Důležitou součástí je i zjištění souvislostí mezi testy navzájem a to, jak dokáží popsat přední část vozidla s ohledem na jednotlivé snímače impaktoru. V závěru jsou naznačeny opět možnosti predikce výsledků za pomoci již proběhlých testů na sousedních pozicích a možnosti směřování dalšího výzkumu v této oblasti.

Annotation

This study has in the theoretical introduction simple view on history of passive safety, including pedestrian safety and statistical reasons for passive safety tests. There are described regulations, which follow up pedestrian protection and which determines test conditions. Study is working with tests with impactors, it means from marking of zones for tests on the beginning, through conditions of test to output from tests.

There is ongoing to research part, where goal is description of behaviour of relatively difficult Flex PLI impactor on the car. Compared and described are tests on two car concepts. In the study is described possibility of classical way, only by focusing on the maximal values and their possible prediction. But also there is showed disadvantage of founding only maximal values due to description of more complex information. Important part is finding of relations between tests and that it can describe front part of a car in way of every simple sensor of impactor. On the end of study are again possibilities for prediction of results based on tests, which were done yet, on the neighbouring positions and possibilities of research ways in this area.

Klíčová slova: pasivní bezpečnost, zkoušky ochrany chodců, Flex PLI

Keywords: passive safety, pedestrian protection tests, Flex PLI

Obsah

Anotace	5
Annotation.....	5
Úvod	10
1. Průřez historií pasivní bezpečnosti.....	10
2. Přehled nehodovosti	12
3. Zkoušky homologační.....	13
4. Zkoušky spotřebitelské EuroNCAP	13
5. Příprava vozidla pro případ srážky s chodcem	14
5.1. Design	16
6. Proces zkoušek ochrany chodců.....	17
7. Metodika rozměření zkušebních zón	18
8. Impaktory makety hlavy	29
8.1. Impaktor dětské hlavy AC35.....	29
8.2. Impaktor dospělé hlavy AD45	30
9. Impaktory makety nohy	31
9.1. Impaktor stehna	31
9.2. Impaktor spodní nohy (Lower leg - LLEG).....	32
9.2.1. Metodika zkoušky impaktorem LLEG	34
9.2.2. Nevýhody impaktoru LLEG (TRL)	36
10. Porovnání LLEG a Flex PLI.....	36
11. Konstrukce Flex PLI.....	38
11.1. Historie vývoje Flex PLI.....	38
11.2. Verze impaktoru Flex PLI	40
11.2.1. Nové verze impaktoru nohy	40
11.2.2. Schéma stávajícího, legislativou uznaného impaktoru nohy	41
11.3. Stehenní část	43
11.3.1. Konstrukce.....	43
11.3.2. Snímače	44
11.4. Kolenní část	45
11.4.1. Konstrukce.....	45
11.4.2. Snímače	46

11.5.	Holenní část	47
11.5.1.	Konstrukce.....	47
11.5.2.	Snímače	47
12.	Certifikace Flex PLI.....	49
12.1.	Statická certifikace	49
12.1.1.	Statická certifikace stehna.....	49
12.1.2.	Statická certifikace holeně	52
12.1.3.	Statická certifikace kolena.....	53
12.2.	Dynamická certifikace	55
12.2.1.	Dynamická certifikace kyvadlová	55
12.2.2.	Dynamická certifikace inverzní.....	59
12.2.3.	Vývoj a porovnání kyvadlové a inverzní certifikace.....	62
12.3.	Porovnání staré a nové kosti certifikace vůči testu.....	64
12.4.	Ověření opakovatelnosti, resp. možného rozptylu měřených hodnot	65
13.	Metodika	67
13.1.	Příprava impaktoru na test.....	67
13.2.	Ostatní příprava.....	68
13.3.	Vlastní test.....	71
13.3.1.	Akcelerační fáze.....	71
13.3.2.	Fáze volného letu	73
13.3.3.	Náraz impaktoru.....	74
13.3.4.	Odskok impaktoru („rebound“).	75
13.4.	Doprovodné činnosti zkoušky	75
13.4.1.	Fotodokumentace, popis vzorku	75
13.4.2.	Vysokorychlostní video testu	76
13.5.	Formát dat.....	79
14.	Výzkumná část – různý přístup k výsledkům zkoušek.....	79
14.1.	Vyhodnocení výsledků testů.....	80
14.2.	Vyhodnocení testů z hlediska homologace	80
14.3.	Vyhodnocení testů z hlediska EuroNCAP	80
14.4.	Analýzy výsledků.....	82
14.4.1.	Normalizace na rychlost	83

14.4.2.	Vyznačení extrémů	84
14.4.3.	Rozbor.....	85
14.4.4.	Predikce na maximech.....	94
14.5.	Analýza celého průběhu nárazu	97
14.5.1.	Predikce průběhu zkoušky.....	120
14.6.	Shrnutí	124
15.	Závěr	125
	Reference	133
	Přílohy.....	136
	Publikační činnost.....	141

Úvod

Pasivní bezpečnost má velký vliv na konstrukci automobilu, jak na celkový systém, tak jednotlivé komponenty. Spolu s designem také ovlivňuje výběr vozu zákazníkem. Je to součást vývoje automobilu, která se dotýká různých konstrukčních, elektronických a dalších systémů. Kromě té části pasivní bezpečnosti, která se zajímá primárně o ochranu posádky, se celé týmy vývojářů a konstruktérů zabývají ochranou nechráněných účastníků silničního provozu. Tím je míněno cyklistů a chodců. Ochrana cyklistů z tohoto pohledu pasivní bezpečnosti zatím není ani v Evropské legislativě, ani v běžných spotřebitelských testech. Naproti tomu ochrana chodců je již několik let důležitou součástí vývoje automobilů. Ovlivňuje konstrukci celé přední části automobilu, ať už je to kapota, kryt nárazníku, struktura pod nárazníkem, světlomety, blatníky, výčnelky motorového prostoru, čelní sklo, přístrojová deska a podobně. V této práci je proveden komplexní náhled na test impaktorem nohy, který je z používaných impaktorů nejmladší a nadále prochází vývojem.

1. Průřez historií pasivní bezpečnosti

Pasivní bezpečnost automobilů se, byť se to může zdát neuvěřitelné, řeší již velmi dlouho. První pokusy se zachytnými sítěmi pro chodce se mohou z dnešního hlediska zdát spíše úsměvné, byl to však zřejmě první systém ochrany chodců a možná první prvek pasivní bezpečnosti automobilů vůbec.



Obr. 1 John O 'Leray již v roce 1908 navrhl jednoduché zařízení se sítí pro ochranu chodců (1)

Nejviditelnější je ovšem až její mohutné rozšíření v druhé polovině 20. století. Velmi důležitým počinem v pasivní bezpečnosti osobních automobilů byl tříbodový bezpečnostní pás vynalezený v automobilce Volvo v roce 1959.

Podobně jako vypadá záchytný mechanismus z roku 1908 i jednoduchý rám, který se vymrštil z blatníků a nárazníku prototypu ADO 16 Austin Morris, vyrobeného 1974. Vyskočení konstrukce probíhalo automaticky a mělo za úkol zabránit druhému dopadu, tedy nárazu chodce na zem.

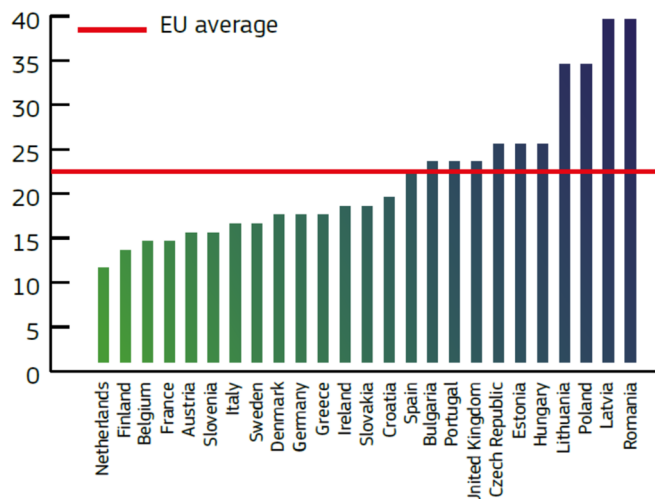


Obr. 2 Vystřelovací konstrukce na prototypu ADO 16 Austin/Morris 1300 (British Leyland) z roku 1974 (2)

V 70-tých letech k bezpečnostnímu pásu přibyl airbag, který nejdříve sloužil jako alternativa pásů. Nyní už se neobjevuje jen na místech řidiče či spolujezdce, ale automobilky jím dokáží vybavit všechna místa k sezení - přidaly se kolenní airbasy, podsedačkové, ale i vnější, např. pro ochranu chodců. Jejich rozmach je způsoben již vhodným časováním a synchronizováním např. s předepínači pásů. Ačkoli se bezpečnost v automobilech stále více řeší jako aktivní, předejitím nehodě, případně zpomalením apod., i v pasivní bezpečnosti vývoj pokračuje. Ať už je to ladění skladby materiálu v konstrukci, použití vysokopevnostních ocelí nebo např. aktivní kapota či airbag pro chodce. Biomechanika zkušebních figurín a impaktorů se evidentně bude zlepšovat a s tím souvisí i nutnost přizpůsobit vozidla.

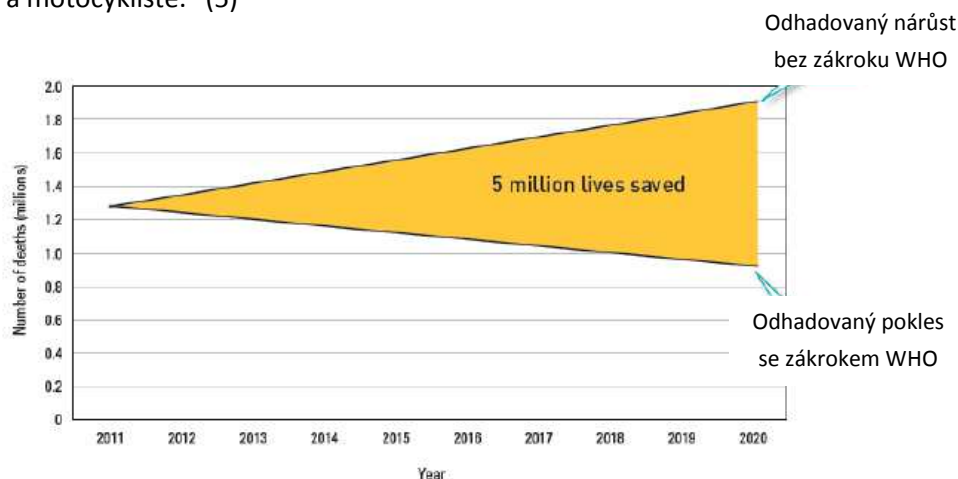
2. Přehled nehodovosti

Více než 270 000 lidí zemře ročně na světových silnicích, což čítá 22% z celkových 1,24 milionu dopravních nehod. (3)



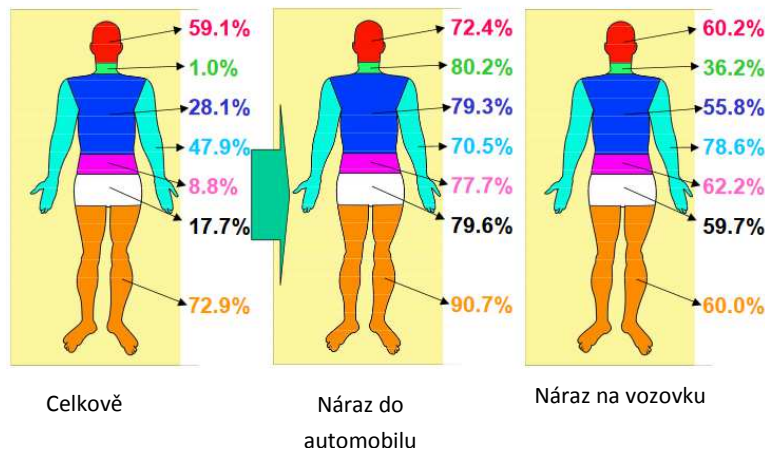
Obr. 3 Podíl chodců na úmrtnosti při dopravních nehodách, srovnání států (4)

Protože je mnoho dopravních nehod (v roce 2011 přibližně 1,3 milionu ročně, 20 – 50 milionů zraněných), včetně těch s chodci, rozhodla se Světová zdravotnická organizace (World Health Organization, WHO) pro projekt „Global plan decade of action for Road Safety 2011 – 2020“, který má zachránit miliony životů po celém světě. „Přes 90% usmrcených a zraněných při dopravních nehodách pochází ze států s nízkými a středními příjmy, které mají jen 48% celosvětově zaregistrovaných vozidel. Téměř polovina (46%) těchto umírajících na světových silnicích jsou „nechránění účastníci provozu“: chodci, cyklisté a motocyklisté.“ (5)



Obr. 4 Plán WHO na snížení počtu usmrcených na světových silnicích, s a bez implementace „Action for Road Safety 2011 – 2020“ (6)

Při střetech osobních automobilů s dospělým chodcem (výška > 150 cm) je významným způsobem zastoupeno poranění nohy.



Obr. 5 Četnost poranění 293 chodců (100%) při srážce s automobilem a poté na vozovku (7) Velké množství poraněných má poraněno více oblastí těla.

Proto je v této oblasti dál prováděn výzkum a připravují se nové impaktory. Lepší biomechanická věrnost by měla zajistit úbytek poranění. Ať už jejich počet nebo fatalitu. V dalších kapitolách bude zevrubně popsán vývoj od staršího typu impaktoru nohy TRL LLEG k novému Flex PLI a bude zmíněn i směr, kterým se tato oblast ubírá.

3. Zkoušky homologační

Česká legislativa se v oblasti ochrany chodců, podobně jako v mnoha jiných oblastech odkazuje na evropské právní předpisy. První právní normou v této oblasti byl Předpis spojených národů UN GTR 9 (a předpis 127), potažmo pro Českou republiku z něj vycházející Nařízení evropského parlamentu a rady (ES) č. 78/2009 s Nařízením komise 631/2009. Ty důkladně popisují jak formální část, tak parametry zkoušek, impaktory, certifikace atd. V této práci je na několika místech zmíněna aktuální homologační norma, kterou je ECE 127.02. Jako jeden ze základních předpisů v současné ochraně chodců je zmíněn v oblasti impaktorů, průběhu zkoušky i jejím hodnocení.

4. Zkoušky spotřebitelské EuroNCAP

Předpisy EuroNCAP se staly za dobu své existence (od 1997) tvrdší alternativou homologačních předpisů a zřejmě největším spotřebitelským testem v oblasti nárazových zkoušek. V oblasti ochrany chodců přináší největší rozdíl vůči homologačním předpisům hlavně v rychlosti výstřelů impaktorů hlav a jejich dopadových zónách. Oproti 35 km/h při homologaci (AC35, AD45 do oblasti kapoty) je to 40 km/h (AC35 do oblasti kapoty, AD45 do oblasti čelního skla). Rozměření zón bude naznačeno

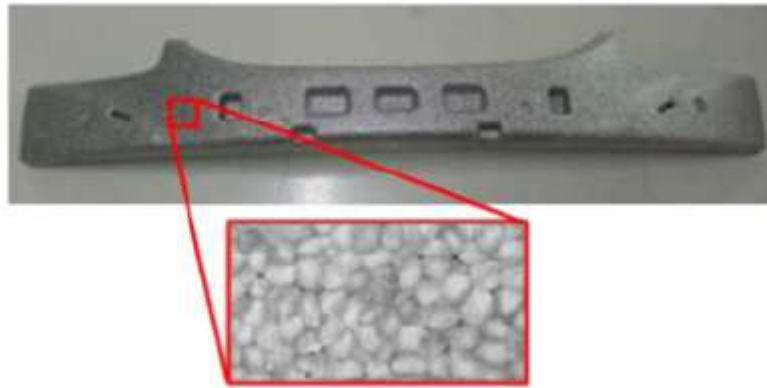
v dalších kapitolách, i tam jsou mírné změny. Další důležitý rozdíl je v použití impaktoru stehna, který již v ECE 127.02 není. Důležitým byl pro předpisy Euro NCAP ohledně ochrany chodců rok 2012, kdy se změnilo více oblastí. „Po harmonizaci nástrojů a procedur s legislativou, se práce ENCAPu zaměřila hlavně na vývoj gridových procedur pro chodeckou oblast hlavy, horní části nohy s pánví a spodní části nohy s kolenem. Přesto byly parametry testu hlavou a horní nohou přehodnoceny, byl zaimplementován nový impaktor nohy a byly nastaveny prahové hodnoty zranění nebo, kde bylo potřeba, byly změněny. Nakonec byly poupraveny posuzovací limity a barevná schémata. Byl rozšířen rozsah a přidány další dvě barvy tak, aby byla detailněji popsána ochrana chodců.“ (8)

Na protokoly EuroNCAP je v této práci několikrát odkazováno jako na důležitou část zkoušek ochrany chodců. Mnoho automobilek vyvíjí svá vozidla s ohledem na tyto protokoly, případně s cílem na bodové ohodnocení.

5. Příprava vozidla pro případ srážky s chodcem

Vozidlo musí být připraveno na případ srážky s chodcem, a to nejen kvůli homologaci a spotřebitelským testům. Ochrana chodců se zde řeší v několika rovinách. Do aktivní bezpečnosti lze započítat AEB (autonomní bezpečnostní systémy brždění), ABS, ale i například výhled řidiče z vozidla a podobně. Z hlediska pasivní bezpečnosti, které se tato práce věnuje jsou to prvky zejména konstrukční, ale i elektronické. Lze říci, že v moderních automobilech je na srážku s chodcem připravena téměř celá před vozidla. A také je tomu uzpůsobena, jak designově, tak materiálově. Jak bude popsáno dále, částečně i kvůli nárazům chodců, resp. zkouškám, které je v laboratorních podmínkách reprezentují, vypadají automobily jinak než např. před dvaceti lety.

Konstrukce, které jsou na automobilu a týkají se ochrany chodců jsou zejména na povrchu automobilu. Je to pro oblast nohy zejména kryt nárazníku, pod ním velmi důležitý absorbér nárazu, tzv. padding (obvykle z EPP (extrudovaný polypropylen) či např. PP). Dále pak světlomety s různými lomovými liniemi. Více uvnitř pak přizpůsobená ocelová výztuha nárazníku, případně s ocelovými „nosníčky“ pro podporu vnějšího plastového krytu nárazníku. Rovněž tzv. frontend (chladičová stěna) je konstruován i s ohledem na ochranu chodců – např. lomové linie, tvary umožňující rozklad sil na ostatních dílech apod.



Obr. 6 Padding, absorbér nárazu zejména nohy (příp. nárazu vozidla při malých rychlostech, tzv. RCAR), vyrobený z EPP (9)



Obr. 7 Škoda Kodiaq s naznačenými deformačními prvky. Fialově, červeně a žlutě označena výztuha nárazníku se svislými nosníky a modrou podpůrnou rovinou kvůli zkouškám ochrany chodců. Mezi žlutou přední částí výztuhy a plastovým vnějším krytem nárazníku je možné vidět pěnový padding (10)

Pro oblast zkoušek impaktorem stehna jsou připraveny světlomety, kryt nárazníku i kapota (s možnými kritickými body v okolí zámku kapoty). Důležitá je vzájemná pozice těchto konstrukčních prvků. Impaktor stehna totiž naráží např. přes kapotu do frontendu a někdy i dále na světlomet. Ten se někdy může dále bortit a narážet na další části vozidla.

V případě oblasti dopadu impaktoru dětské hlavy je nutné samozřejmě zmínit kapotu s prolisovaným vnitřním plechem, odstup kapoty od motoru, v zadní části je to také měkký plech vodního kanálu a podobně. Pokud je to nutné a odstup kapoty tuhých součástí v motorovém prostoru je malý, je použita tzv. „aktivní kapota“ nebo dokonce airbag pro chodce. Aktivní kapota je relativně složitý systém spojující senzory detekující srážku automobilu s chodcem s řídicí jednotkou, která následně spustí „vystřelení“ kapoty nahoru, tak aby se oddálila dopadová plocha kapoty od možných tvrdých struktur. Dle výzkumu na konkrétních vzorcích, např. (11) se použitím aktivní kapoty zachrání až o 32,8% více životů. (tento konkrétní výzkum byl proveden na konkrétní konstrukci, přesnější čísla by mohla poskytnout spíše až po letech používání statistika z databází StBA, GIDAS apod.) Kapota se podle konstrukce daného zařízení „vystřeluje“ buď systémy s pyropatronami nebo silnými pružinami, obvykle v oblasti závěsů kapoty. Systém musí rozpoznat srážku s chodcem a odlišit ji od jiných, tolik nedůležitých srážek. K tomuto účelu slouží senzorické testy, např. impaktor PDI a PDI-2 (Pedestrian detection impactor) reprezentující chodce a tzv. misuse impaktory jako např. „malé zvíře“, kámen, větev, fotbalový míč apod., při jejichž srážce nesmí být kapota nadzvednuta. Nejen, že je výstřel drahý použitím pyropatron, ale také se obvykle zmenší zorné pole řidiče.



Obr. 8 Příklad výstřelu aktivní kapoty, vlevo test výstřelu, vpravo po testu impaktorem dětské hlavy (11)

Pokud je k tomuto přidán ještě airbag pro chodce, který např. u automobilu Volvo V40 nabízeném již od roku 2012, není jednoduché systém odladit. Navíc zdatně zvyšuje cenu vozu. Zatím se ale zdá airbag jako jediná cesta pro ochranu chodců před tvrdým nárazem do nepoddajných částí automobilu, zejména A-sloupků.

5.1. Design

Cílem výrobců aut je prodat co nejvíce svých produktů. Nejdůležitější faktor při výběru automobilu bývá v našich podmínkách obvykle cena/spotřeba, následuje design. Tvar vozidla je designéry navrhován tak, aby se líbil, to ovšem může kolidovat s dalšími požadavky, které jsou na automobil

kladeny. Jednou z důležitých oblastí, která s designem může soupeřit je právě ochrana chodců, protože se výrazně týká celé přední části vozu. Standardně je designový koncept konfrontován s dopadem na ochranu chodců, když je to možné, některé tvary a linky se upraví (ať už kvůli dopadu na zóny nebo na předpokládaný test). Když už nelze s tvary hýbat, přichází na řadu konstrukční řešení problémů. Aby bylo dosaženo cílů homologace, EuroNCAP i interních (kolize s dalšími požadavky na automobil), může dojít až na složitá řešení, jako je v případě ochrany chodců např. aktivní kapota. Takto je standardně líbivý design upřednostňován před ochranou chodců. Spojit se to může např. do výraznějších rohů nárazníku. Pro ochranu chodců je to jasně definovaná zóna, zákazníkům se líbí. Definice zóny testů do nárazníku bude vysvětlena v kapitole rozměření vozidla.



Obr. 9 Výrazné rohy nárazníku definují šířku zóny nárazu nohou (12)

6. Proces zkoušek ochrany chodců

Když je automobil podroben oficiálním (ne vývojovým) testům ochrany chodců, je nejprve zkušebnou navážen, rozměří se testovací zóny, určí se zkušební body a poté se teprve zkouší. Jak předpisy homologační, tak EuroNCAP mají své metodiky ke všem činnostem, které s ochranou chodců souvisí. Cílem této práce není pouze doslova přepsat tyto dva přístupy (když se bere v potaz pouze poslední platná varianta pro nové vozy, bez starších stále platných nebo nových ještě neplatných návrhů), proto jsou zmíněny nejrelevantnější oblasti.

Navážení znamená zjištění hmotnosti testovaného vozidla. To ale musí být správně vysoko - výrobce tedy udá výšku automobilu (zavěšení kol pro normální jízdu 40 km/h, měřeno v osách kol od podlahy po lem blatníku), na kterou se vzorek „dováží“ přidáním závaží. Je to hmotnost řidiče a spolujezdce 2 x 75 kg, případně palivo. V Euro NCAP předpisech je uvedeno, že pokud je vozidlo do 25 mm od deklarované výšky, je dováženo, pokud je pod nebo nad tím to limitem, zkušebna na něm zkouší tak jak je. Po těchto přijímacích procedurách je velmi důležité rozměření zón. Ovlivňuje kam který impaktor

dopadá, tedy i to, kde má být vozidlo jak konstruováno (s ohledem na zkoušky ochrany chodců). Tím ovlivňuje i design automobilů v jejich přední části. Po zjištění zón dopadu impaktorů lze přistoupit k vlastním zkouškám.

7. Metodika rozměření zkušebních zón

Předpisy definují rozměrování zkušebních zón přesným, legislativním způsobem. K některým částem předpisů dokonce musely být ještě i dopracovány doplňující vysvětlující přílohy, protože samotný předpis nestačil. Pro účely této práce není nutné zabíhat do všech detailů. Budou tedy vysvětleny základní termíny, které stačí na velkou většinu komerčních automobilů.

Pro rozměření zkušebních zón je potřeba zařízení, které dokáže udržet některé dále popsané nástroje v nastavených rovinách, ať už na vozidlo kolmých nebo s ním rovnoběžných. I kvůli manipulovatelnosti je to soustava lineárních vedení, případně je použit i paralelogram.

Pro účely rozměrování zón byl zkonstruován tzv. lineární rozměřovací kříž, který lze připevnit na souřadnicový stroj, který v jiných případech slouží k vrhání impaktorů na vozidlo. Stroj má motorizované pojezdy a má relativně velké rozsahy (řádově v metrech), rozměřovací „kříž“ je upevněn na konci ramene tohoto stroje a pracuje se s ním ručně. Tím, že je totiž složen ze dvou na sebe kolmých lineárních vedení, dává obsluze možnost ručně, jemněji dojet na požadované místo a správně rozměřit požadované prvky zón.



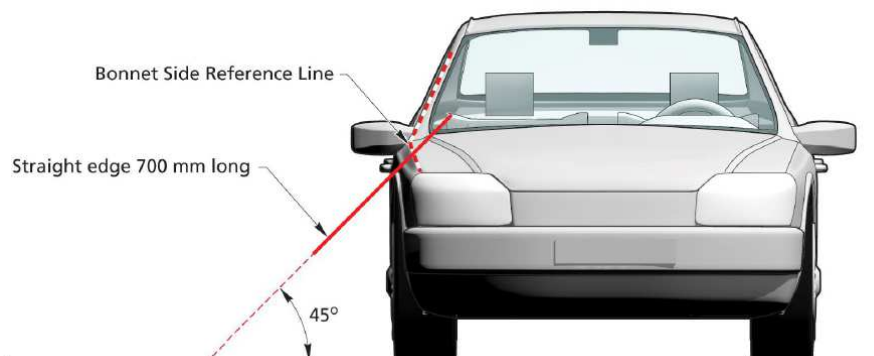
Obr. 10 Rozměřovací kříž pro rozměrování zkušebních zón



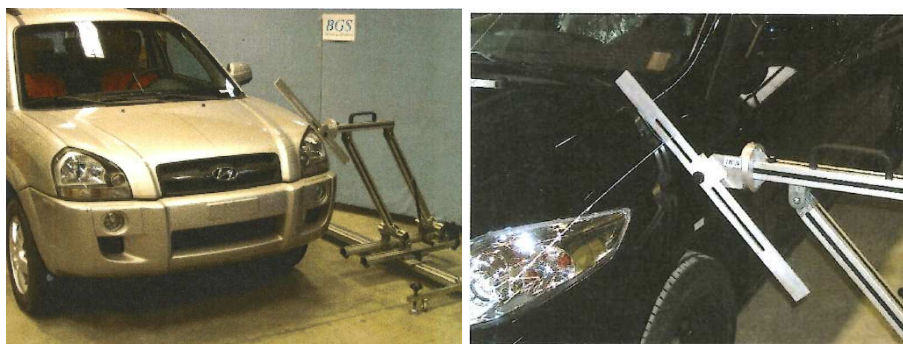
Obr. 11 Rozměřovací kříž pro rozměřování zkušebních zón připevněný na zkušebním stroji, s břitem v podobě ocelové struny

Velmi vhodnou pomůckou, mnohdy nezbytnou, je liniový, případně křížový laser se samonivelací. Ke značení zón na automobilu se používají běžné popisovače, úzké samolepící linky, v některých případech křížový sprej.

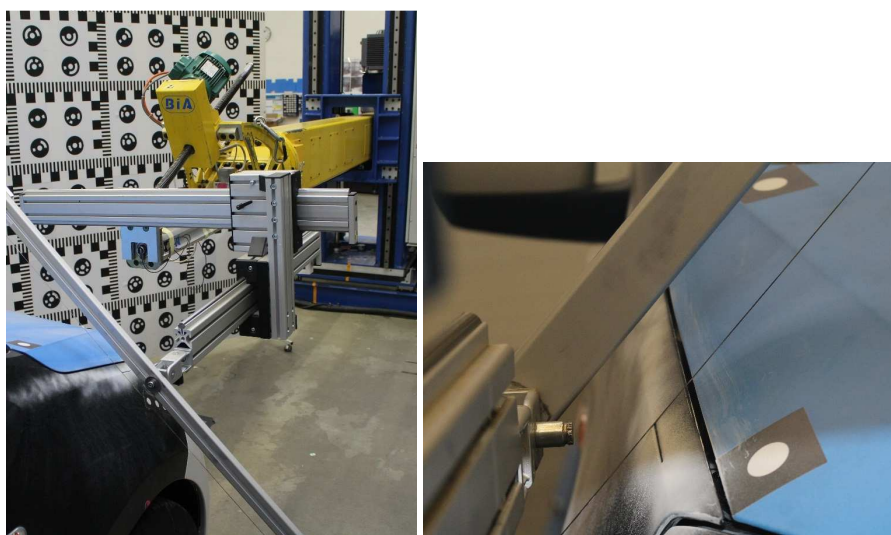
Nejprve je vhodné si na ustaveném automobilu rozměřit laserem středící linku, vedenou v (svislé podélné) rovině XZ (pozn. dle ISO 4130, 1978, tedy kladná osa X dozadu, Y doprava, Z nahoru). Poté se podle ECE 127.02, i Euro NCAP protokolu rozměří boční vztázná linie kapoty (Bonnet side reference line) BSRL. Ta je definována jako „geometrická stopa nejvyšších bodů kontaktu mezi rovným břitem dlouhým 700 mm a bokem kapoty a A – sloupku, kde je břit držen paralelně k příčné rovině automobilu pod úhlem 45°, tažen po boku kapoty a A-sloupku dokud je možné se dotýkat vnějšího povrchu automobilu, kontakt se zpětnými zrcátky je ignorován. Viz následující obrázek. Kde se vyskytnou násobné nebo kontinuální kontakty, je za kontakt uvažován nejvíce vnější.“ (13), (14) Za bok kapoty se v tomto případě považuje i bok blatníku, světlometu apod.



Obr. 12 Tvorba boční vztázné linie kapoty (14)



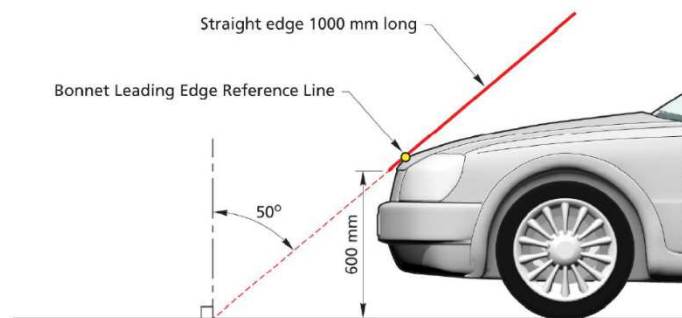
Obr. 13 Rozměřování boční vztažné linie (BSRL) paralelogramem s lineárním vedením Merlin v laboratoři BGS v bast (Bundesanstalt für Straßenwesen, Spolkový dálniční úřad) v Německu (15)



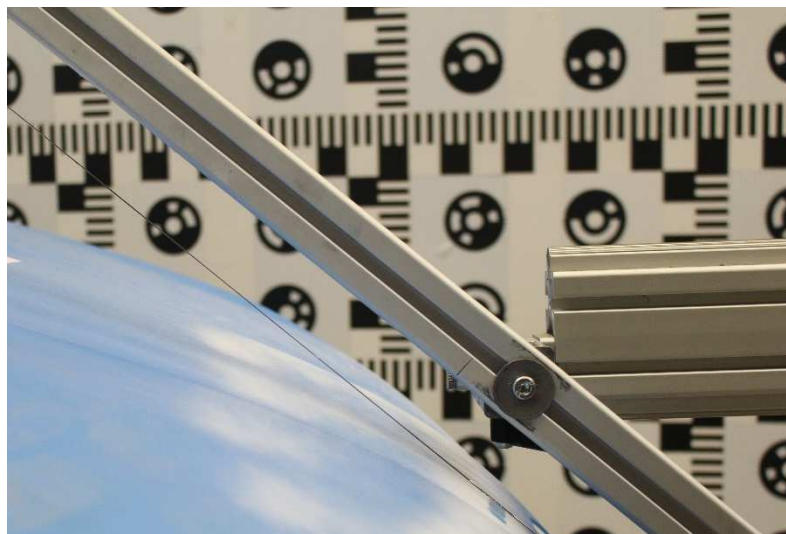
Obr. 14 Rozměřování boční vztažné linie (BSRL) pomocí stroje na vrhání impaktorů (BIA France) s připevněným rozměřovacím křížem. Vpravo detail značení linie do křídového spreje.

Poté je vhodné rozměřit vztažnou linii náběžné hrany kapoty BLERL (Bonnet Leading Edge Reference Line) BLERL. Tato linie je definována jako „geometrické místo bodů kontaktu mezi břitem 1000 mm dlouhým a přední hranou kapoty, zatímco je břit držen paralelně k vertikální podlouhlé rovině automobilu a skloněn pod úhlem 50° od vodorovnice a zároveň je spodní konec břitu 600 mm nad podlahou, tažen přes šířku a v kontaktu s hranou kapoty. Tam, kde má horní povrch kapoty sklon 50°, tedy, v případě, kde břit vytváří souvislý nebo násobný kontakt, vztažná linie je určena břitem skloněným pod úhlem 40°. Pro vozidla, jejichž povrch je takový, že první kontakt nastane spodním koncem břitu, je tento bod brán do vztažné čáry kapoty, ta je vynesena od tohoto bodu dále příčně. Pro vozidla, jejichž povrch je takový, že první kontakt nastane horním koncem břitu, je brána jako vztažná linie

kapoty vzdálenost WAD 1000 vynesena příčně (pozn. Wrap Around Distance, vysvětleno níže). Horní hrana nárazníku je považována za vztahovou linii náběžné hrany kapoty, pakliže je podle této procedury v kontaktu s břitem. “ (13) (14) „Za součást kapoty je možné pro tuto proceduru považovat blatníky, součásti světlometů a podobně.“ (dle EuroNCAP) (14)

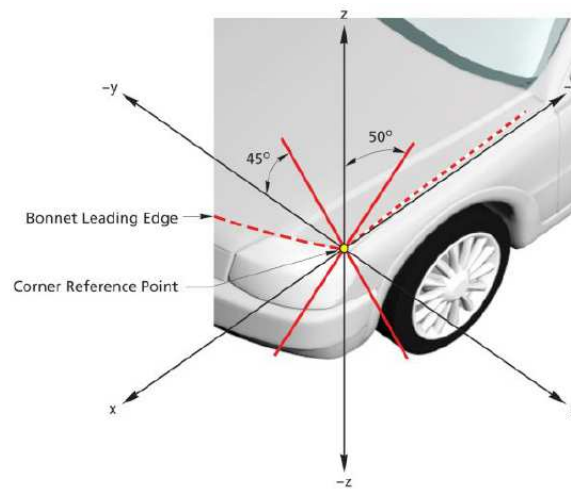


Obr. 15 Tvorba vztahné linie náběžné hrany kapoty (BLERL) (14)



Obr. 16 Tvorba vztahné linie náběžné hrany kapoty (BLERL) pomocí rozměřovacího kříže

„V místě průniku BLERL a BSRL je rohový vztahný bod (Corner Reference Point, CRP).“ (13), (14) „Kde je násobný nebo souvislý společný kontakt, je za rohový vztahný bod považován nejvíce vnější průsečík. CRP je přenesen na linii WAD 775 ve stejné vzdálenosti od střední linie vozidla.“ (14)

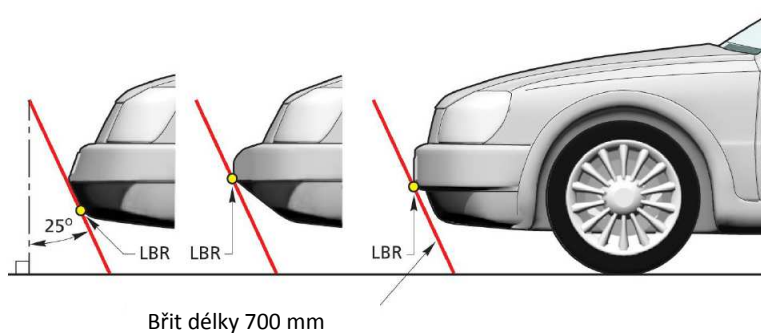


Obr. 17 Roh kapoty (Corner reference Point, CRP) (14)



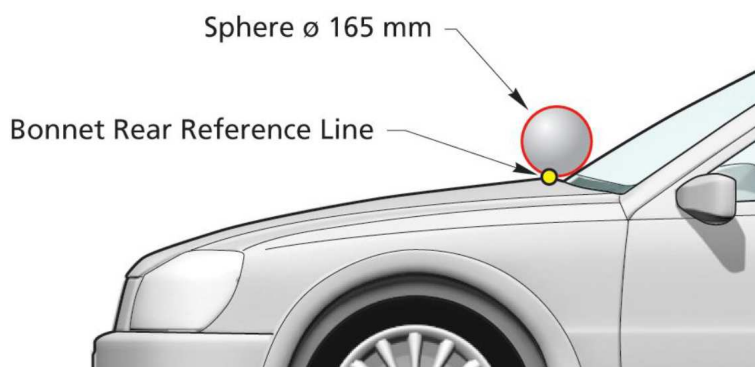
Obr. 18 Vztažný bod kapoty (CRP) rozměřen na reálném vzorku, na spojnici BLERL (modrá) a BSRL (červená). Níže přenesen na WAD 775 (fialová)

„Dolní vztažná čára nárazníku (pozn. Lower Bonnet Reference Line LBRL) je spodní limit významných bodů kontaktu chodce s nárazníkem. Je definována jako místo geometrické stopy nejnižše položených bodů kontaktu mezi břitem dlouhým 700 mm a nárazníkem, když je břit držen paralelně k podélné rovině vozidla a nakloněn dozadu o 25° od svislice, je posouván napříč přední částí vozidla, při současném kontaktu s podlahou a nárazníkem.“ (13), (14)



Obr. 19 Tvorba dolní vztahné čáry nárazníku (LBRL) (14)

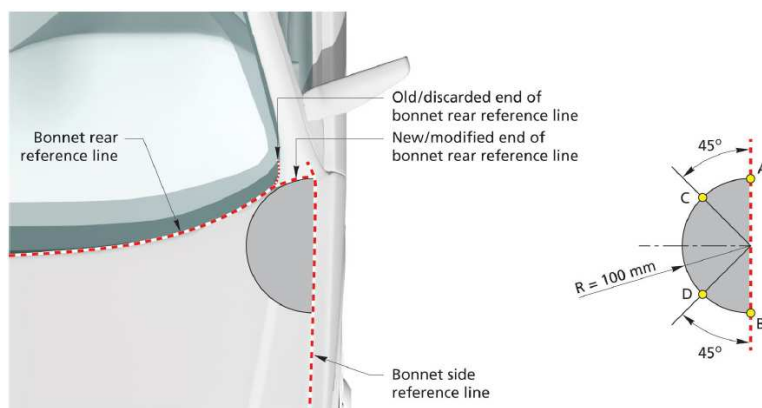
Zadní vztahná hrana kapoty je definována podle homologačního předpisu ECE 127.02 i protokolu Euro NCAP jako „místo geometrické stopy nejzadnějších bodů kontaktu mezi koulí o průměru 165 mm a přední strukturou vozidla, kdy je koule posouvána napříč čelní strukturou a zároveň se dotýká čelního skla. Stěrače a ramínka stěračů jsou během tohoto procesu odstraněny. (16), (14)



Obr. 20 Tvorba zadní vztahné hrany kapoty (14)

„Tam, kde je zadní vztahná hrana kapoty dál než WAD2100 (bude vysvětleno dále), je tato považována za zadní zadní vztahnou hranu kapoty. Tam, kde se zadní vztahná hrana kapoty nedotýká boční vztahné linie kapoty (BSRL), je zadní vztahná hrana kapoty prodloužena a/nebo modifikována použitím půlkruhové šablony o poloměru 100 mm. Šablona by měla být vyrobena z tenkého měkkého materiálu, který se snadno ohne a zakříví v jakémkoli směru. Šablona je označena čtyřmi body A až D dle následujícího obrázku, v narovnané poloze. Šablona se přiloží na vozidlo s body A a B na boční vztahné hraně kapoty (BSRL). Při zajištění kontaktu těchto dvou bodů na hraně se posouvá šablona dozadu až do dotyku se zadní vztahnou hranou kapoty. Během tohoto procesu by měla šablona být v co nejbližším kontaktu a přizpůsobovat se jí bez zvrásnění nebo přeložení. Když se šablona dotýká zadní hrany kapoty tečně a bod dotyku je mimo výseč tvořenou body C a D, pak je zadní vztahná hrana kapoty prodloužena

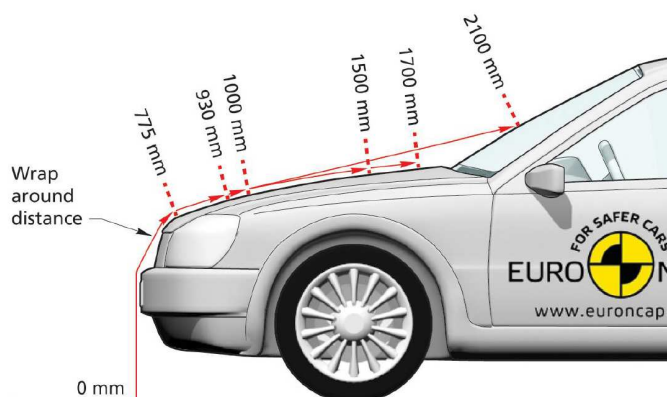
a/nebo modifikována podle oblouku šablony až do boční vztažné hrany kapoty. Pokud se šablona zároveň nedotýká body A a B boční vztažné hrany kapoty a zadní vztažné hrany kapoty, nebo je bod dotyku se zadní vztažnou hranou kapoty mezi bod C a D, pak by měly být použity další šablony s větším poloměrem navýšeným vždy o 20 mm, dokud nejsou podmínky dodrženy.“ (14)



Obr. 21 Šablona zadní hrany kapoty a prodloužení (14)

Důležitou součástí rozměření zón je tzv. „délka obálky“ WAD (Wrap Around Distance). Podle homologačního předpisu ECE 127.02 je definována jako „místo geometrické stopy na vnějším povrchu přední struktury vozidla vymezené flexibilní páskou, která je držena ve svislé podélné ose vozidla a posouvána napříč přes strukturu. Páska je držena na jednom konci na podlaze, svisle s přední částí vozidla a druhý konec je v kontaktu se strukturou. Vozidlo je v normální jízdní poloze. Tato procedura by měla být provedena páskami s různou délkou nebo páskou s nastavitelnou délkou tak, aby se označily vzdálenosti 1000 mm (WAD1000), 1700 mm (WAD1700) a 2100 mm (WAD2100).“ (16)

V protokolu Euro Ncap v. 8.3 jsou další vzdálenosti, které se vyznačují podobným způsobem. Je to vzdálenost 775 mm, 930 mm a 1500 mm. (14) Vzdálenosti nad WAD1000 se měří tak, že se páska podrží na úrovni WAD1000 a dál je napnutá.



Obr. 22 Tvorba linií WAD (14)

Aby bylo rozměřování WAD linií jednodušší a přesnější, byl sestaven jednoduchý příložník s těžkou základnou, úhelníkem a pásmem. Svou vahou zajišťuje, že není potřeba pásmo držet u podlahy, úhelník se při rozměřování dotýká přední části automobilu a pásmo se natáhne podle liniového laseru, který je nastaven paralelně s podélnou osou vozidla.



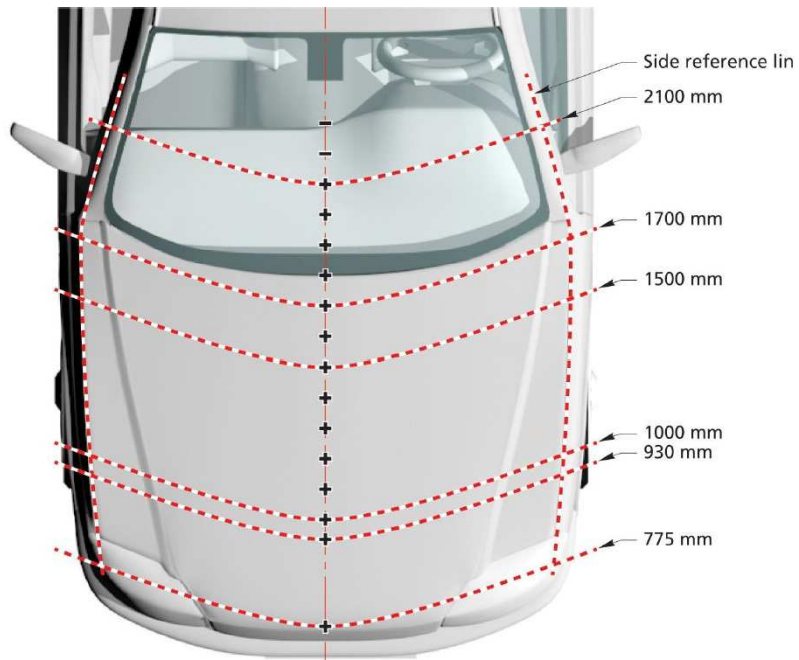
Obr. 23 Pomůcka pro rozměřování linií WAD

Homologační protokol ECE 127.02 definuje zónu pro testy impaktorem dětské hlavy jako „oblast vnějších povrchů přední struktury omezenou:

- a) vpředu WAD1000 nebo odstupem 82,5 mm dozadu od BLERL, podle toho, která z nich je více vzadu na dané příčné pozici.
- b) vzadu linií WAD1700 nebo odstupem 82,5 mm dopředu od zadní vztažné hrany kapoty, podle toho, která je více vpředu na dané příčné pozici.
- c) na každé straně linií 82,5 mm dovnitř od boční vztažné hrany.

Vzdálenost 82,5 je měřena flexibilní páskou po vnějším povrchu vozidla.“ (13)

Mezi liniemi WAD1000 a WAD 1500 je zóna pro testy impaktorem dětské hlavy AC35 dle předpisu Euro NCAP, mezi liniemi WAD1700 a WAD 2100 je zóna pro impaktor dospělé hlavy. Kde je zadní vztažná hrana kapoty mezi WAD1500 a WAD1700, body před ní a na ní mají být zkoušeny impaktorem dětské hlavy. Kde je zadní vztažná hrana kapoty za WAD1700, má být použit impaktor dětské hlavy AC35 až po WAD1700 včetně. Body za zadní vztažnou hranou kapoty mezi WAD1500 a WAD1700 mají být odzkoušeny impaktorem dospělé hlavy AD45. (14)

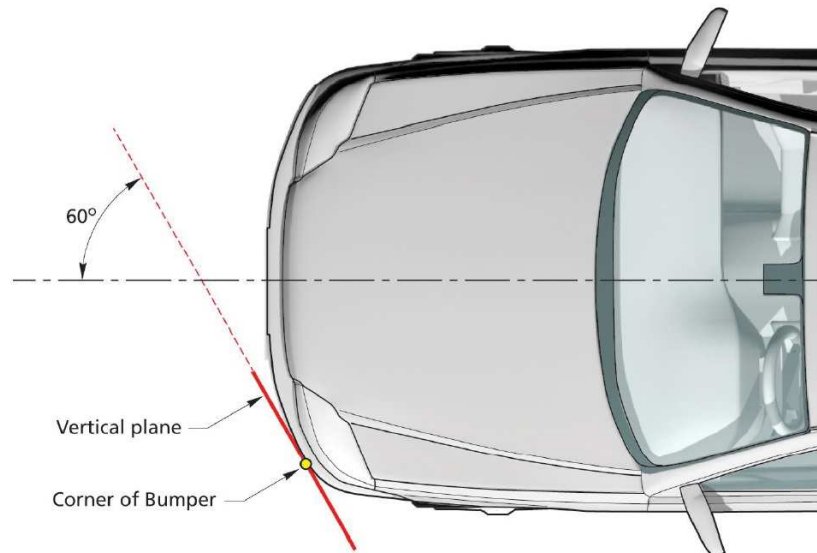


Obr. 24 Zóny podle předpisu Euro NCAP v. 8.3 (14)



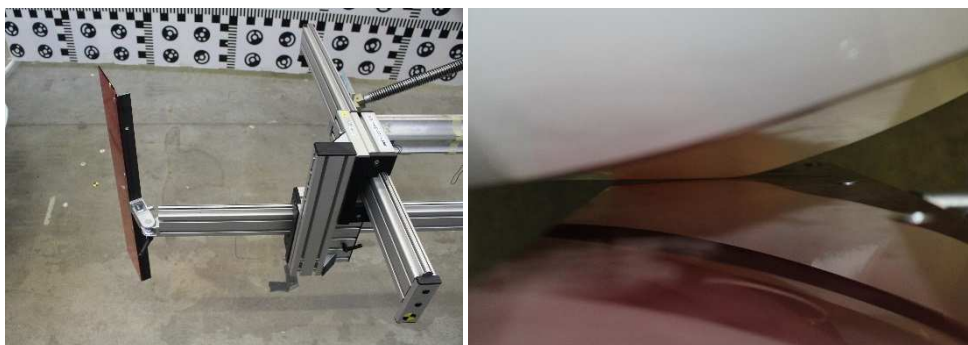
Obr. 25 Rozměřování zón paralelogramem s lineárním vedením Merlin v laboratoři BGS v bast (Bundesanstalt für Straßenwesen, Spolkový dálniční úřad) v Německu. Na kapotě a skle je vidět porovnání ENCAP rozměření vpravo starším způsobem a „gridem“ s rozestupem 100 mm po celé kapotě (15)

Roh nárazníku znamená dle ECE 127.01 bod kontaktu vozidla se svislou rovinou, která svírá úhel 60° se svislou podélnou rovinou vozidla a je tečná k vnějšímu povrchu nárazníku (dle následujícího obrázku). (16)



Obr. 26 Rozměření rohu nárazníku „nekonečnou“ rovinou skloněnou pod 60° od podélné roviny automobilu (14)

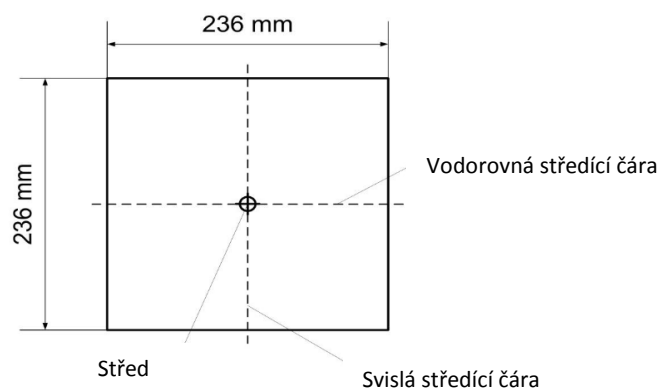
Pro nalezení rohu nárazníku se používá např. průhledná deska, která se připevní na univerzální lineární rozměrovací kříž. Díky němu je možné dojet do blízkosti vozu a kopírovat jeho strukturu, přiložit desku a nalézt tak hledaný roh nárazníku. Když se předpokládané místo ještě namaže např. nějakým gelem v tenké vrstvě, dotyk je určen přesněji. Průhlednost desky pomáhá kontrolovat celou situaci.



Obr. 27 Průhledná deska reprezentující část roviny pro rozměrování rohu nárazníku. Vpravo detail dotyku desky s nárazníkem, nalezení rohu nárazníku.

Zóna pro zkoušky nohou je potom dle ECE 127.01 definována jako „oblast mezi podélnými svislými rovinami procházejícími body 66 mm dovnitř od rohu nárazníku. Tato vzdálenost je měřena poddajnou páskou po vnějším povrchu vozidla.“

V homologačním předpisu ECE 127.02, který má platnost od června 2016 je roh nárazníku definován pomocí destičky dle následujícího obrázku.



Obr. 28 Rozměřovací destička pro určení rohu nárazníku dle ECE 127.02 (13)

Dle ECE 127.02 je tedy roh nárazníku definován jako „bod kontaktu automobilu a destičky, přičemž destičkou je pohybováno paralelně s rovinou skloněnou pod 60° od svislé podélné osy automobilu v jakékoli výšce středového bodu mezi:

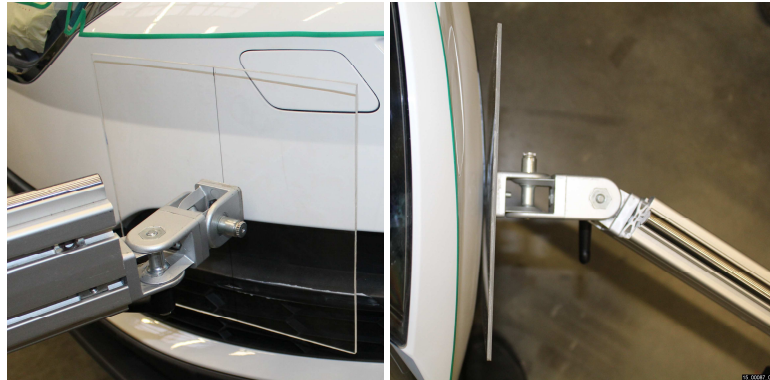
- a) na nebo nad bodem, který vznikne průsečíkem svislice a dolní vztážené čáry nárazníku (LBRL) v místě rozměřování, nebo 75 mm nad podlahou, podle toho, co je výš
- b) na nebo pod bodem, který vznikne průsečíkem svislice a horní vztážené čáry nárazníku (UBRL) v místě rozměřování, nebo 1003 mm nad podlahou, podle toho, co je níž

Destičkou je pohybováno tak, aby se vnější ho povrchu vozidla dotýkala svislou středící čárou. Vodorovná středící čára je paralelně k podlaze.

Rohy nárazníku na obou stranách jsou následně definovány jako nejvíce vnější body kontaktu destičky s vnější konturou (předním nárazníkem vozidla podle této procedury. Jakékoli body kontaktu na horní nebo dolní hraně destičky nejsou započítávány. Vnější zařízení pro nepřímé vidění a pneumatiky by neměly být uvažovány.“ (13)

Zóna pro zkoušky nohou je potom dle ECE 127.02 (13) definována jako oblast mezi rohy nárazníku mínus 42 mm dovnitř od každého rohu nárazníku měřeno vodorovně a kolmo na podélnou osu vozidla nebo mezi nejvíce vnějšími konci výztuhy nárazníku (definováno jako příčný nosník případně zadní část krytu nárazníku chránící přední část automobilu, bez pěny nebo jakékoli součásti pro ochranu chodců), opět s odstupem 42 mm. Měřeno opět vodorovně a kolmo na podélnou rovinu vozidla, bere se oblast, která je z těchto větší. EuroNCAP protokol 8.3 (14) pracuje s břitem dlouhým 700 mm, který v podstatě

na většině vozidel vytváří rovinu podobnou ECE 127.01, ovšem definuje ještě výztuhu nárazníku (bez absorbérů nárazu chodce) a její kraj. Potom je zóna nárazu nohou ohraničena buď rohem nárazníku nebo krajem výztuhy, podle toho, co je větší (dál od středu automobilu).



Obr. 29 Rozměřování rohu nárazníku destičkou podle ECE 127.02 umístěnou na lineárním rozměrovacím kříži

8. Impaktory makety hlavy

Pro zkoušky ochrany chodců byly vyvinuty dva impaktory hlav. V současné době je to v našich podmínkách (např. legislativně ECE 127.02, Euro NCAP protokol 8.3) impaktor dětské hlavy AC35 (Small adult, child headform impactor) a impaktor dospělé hlavy AD45 (Adult headform impactor). V této práci jsou zmíněny jen pro úplnost portfolia impaktorů pro zkoušky ochrany chodců.

8.1. Impaktor dětské hlavy AC35

Impaktor označovaný jako AC35 má zkratku odvozenou z anglického názvu „Small Aadult and Child headform impator“ a jeho hmotnosti, která je 3,5 kg.



Obr. 30 Impaktor dětské hlavy AC35

Impaktor má v sobě tříosý akcelerometr nebo tři jednoosé. Jejich signály slouží pro zjištění koeficientu poranění hlavy HIC (Head Injury Criterion). Ten se vypočítá

$$\text{HIC} = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a \, dt \right]^{2.5} (t_2 - t_1)$$

R. 1

kde a je výsledné zrychlení z akcelerometrů (měřeno v jednotkách $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ a t_1, t_2 jsou časy dopadu v sekundách definované pro interval, kdy je HIC největší v $t_2 - t_1 \leq 15 \text{ ms}$.

8.2. Impaktor dospělé hlavy AD45

Podobně jako u impaktoru dětské hlavy, i zde je zkratka odvozena z anglického názvu „Adult headform impactor“ a jeho hmotnosti, která je 4,5 kg. Snímače i výpočet HIC je u impaktoru dospělé hlavy stejný jako u impaktoru AC35.



Obr. 31 Impaktor dospělé hlavy AD45

9. Impaktory makety nohy

Během srážky automobilu s chodcem má na poranění velký vliv velikost (výška) chodce. Obecně lze říci, že pro děti je nebezpečnou oblastí hlava, pro dospělé oblast nohy, viz. např. (17). Impaktory nohy, se kterými se můžeme setkat v předpisech homologačních i spotřebitelských se velmi liší jak konstrukcí, tak metodikou testu.

9.1. Impaktor stehna

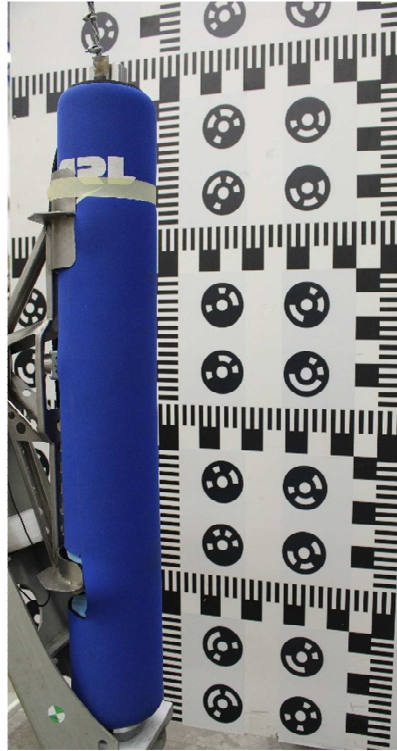
Impaktor stehna, neboli horní nohy, tzv. Upper leg (ULEG) je jediný impaktor ze všech impaktorů používaných při zkouškách ochrany chodců, který je vedený. Ostatní mají alespoň nějakou fázi volného letu. V evropských homologačních předpisech (18) se nemusí používat, byť by měl výrobce testy dělat alespoň pro monitoring oblasti. Ve spotřebitelských testech ENCAP se s jeho použitím počítá, minimálně do roku 2020. Ačkoli lze měřit zatížení stehenní „kosti“ i na jiném, komplexnějším impaktoru nohy - Flex PLI, zatím není biomechanicky natolik blízký lidskému tělu, aby mohl být impaktor ULEG naplno zastoupen. Toto nárazové těleso je složeno z několika hlavních částí: vedení impaktoru; tuhá nárazová část osazená snímači, zastupující stehenní kost; pěnové obložení jakožto svalovina. Ocelová trubka představující stehenní kost je opatřena třemi tenzometry ve střední části (Upper, Center, Lower bending) a dvěma siloměry (Top, Bottom force) na koncích. Dodatečně lze impaktor osadit např. akcelerometrem.



Obr. 32 Impaktor ULEG s rolnami pro vedení impaktoru. Tělo impaktoru se skládá z ocelové „kosti“, modré pěnové „svaloviny“ a černé pryžové „kůže“

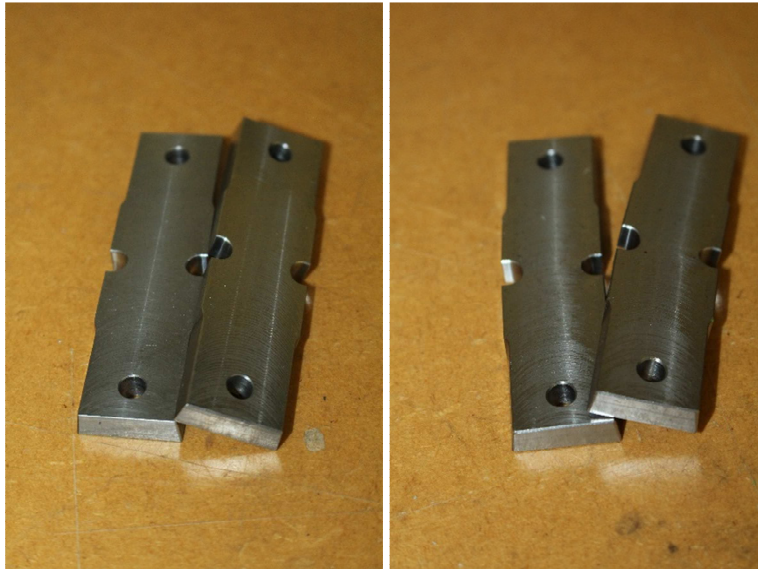
9.2. Impaktor spodní nohy (Lower leg - LLEG)

Prvním samostatným impaktorem používaným pro zkoušky ochrany chodců byl impaktor označovaný jako Lower Legform (LLEG) vyvíjený v laboratořích britské TRL. „Ten byl v předpisech ECE specifikován jako testovací zařízení jak ve fázi 1 od roku 2005, tak ve fázi 2 od 2013“ (19). Vznikal od roku 1983 podle studie D.H. Robbinse (20).



Obr. 33 Impaktor LLEG (TRL) na vrhači

Impaktor sestává ze dvou tuhých těles představujících stehno a holeň spojených ohebným kloubem, kolenem. Celý impaktor je obalen pěnou představující svalovinu a neoprenovou „kůží“. Jako kolenní kloub jsou použity dva ocelové ligamenty s vrubem, které se při testu ohýbají v definovaném směru. Co se tohoto ohybu týče, nahrazují tak kolenní vazy. Viz. následující obrázek.



Obr. 34 Ocelové ligamenty z kolena LLEG TRL, vlevo nové, vpravo použité

„Celková hmotnost stehna a holeně je $8,6 \pm 0,1$ kg a $4,8 \pm 0,1$ kg, respektive, celková hmotnost makety nohy je $13,4 \pm 0,1$ kg. Těžiště stehna a holeně je 217 ± 10 mm a 233 ± 10 mm od středu kolena.

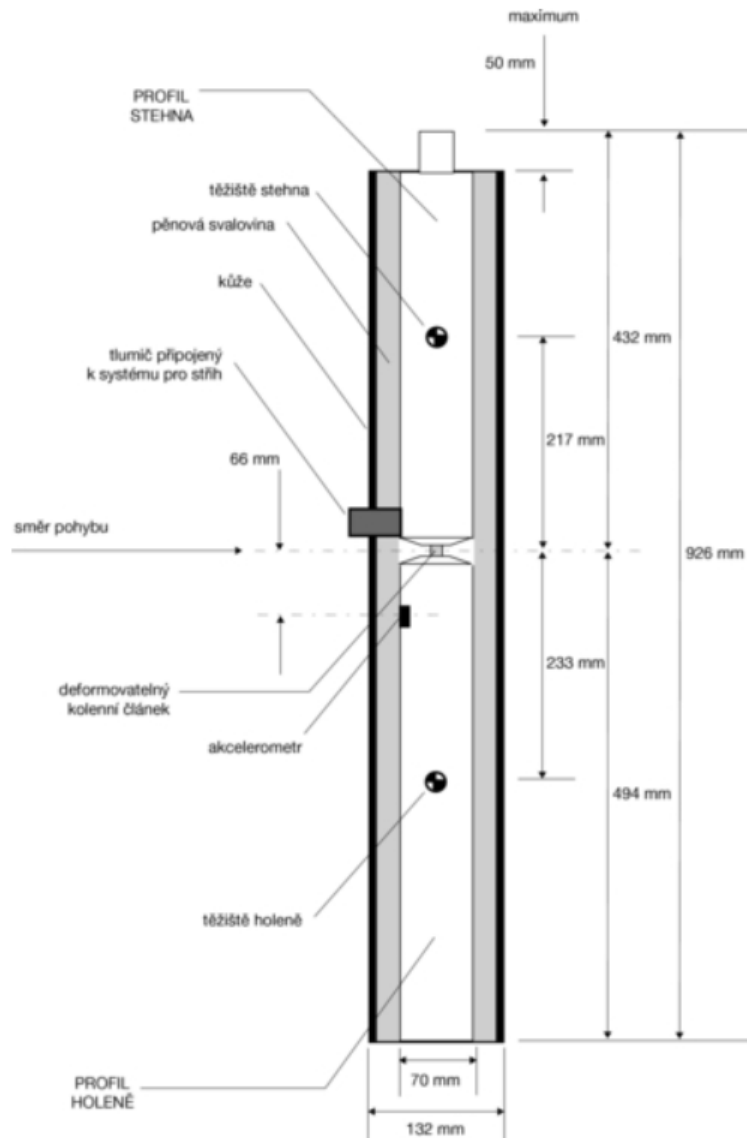
Moment setrvačnosti stehna a holeně má být $0,127 \pm 0,010$ kgm³ a $0,120$ v $0,010$ kgm³.“ (21)

Impaktor je osazen třemi snímači, jsou to

- Jednoosý akcelerometr – na nenárazové straně holeně 66 ± 5 mm pod středem kolena s osou citlivosti ve směru nárazu
- Potenciometr měřící ohyb kolena – rotační potenciometr s adaptérem, je umístěn v holení části
- Potenciometr měřící stříh v koleni – umístěn ve stehenní části

Tyto snímače jsou standardně připojeny pomocí kabelů k měřící technice. Data jsou zaznamenávána v průběhu testu přímo měřící kartou a počítačem. Hrozí tak přetržení kabelů během testu.

Schéma konstrukce impaktoru LLEG na následujícím obrázku.

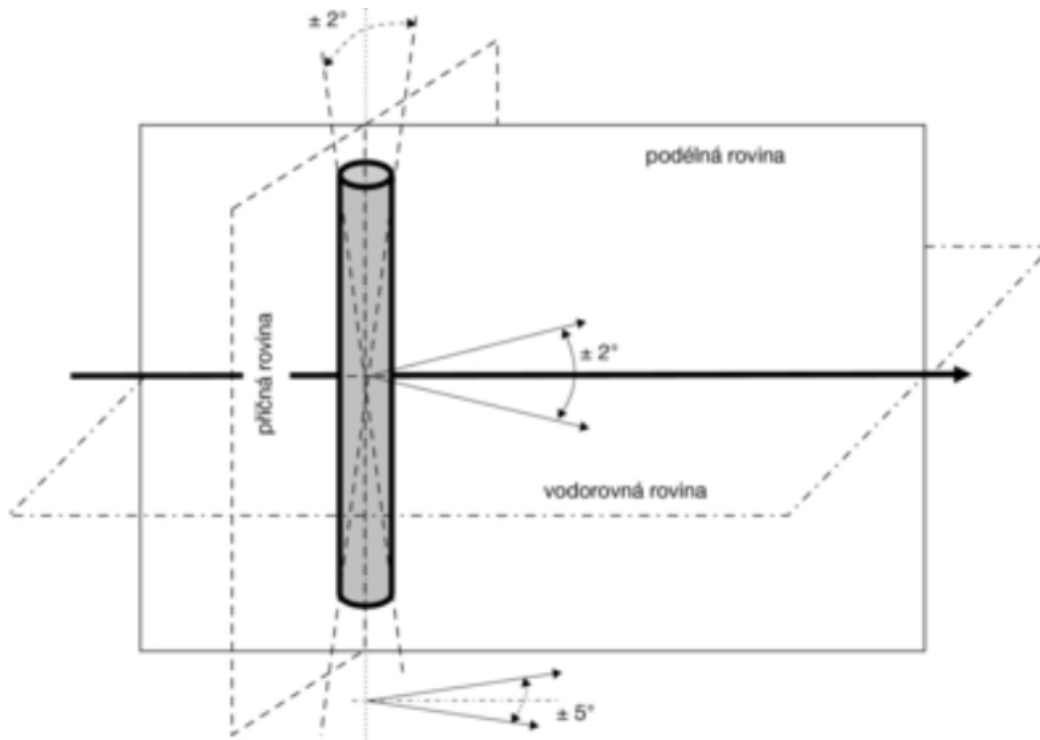


Obr. 35 Schéma impaktoru LLEG s dvěma tuhými částmi, (22)

9.2.1. Metodika zkoušky impaktorem LLEG

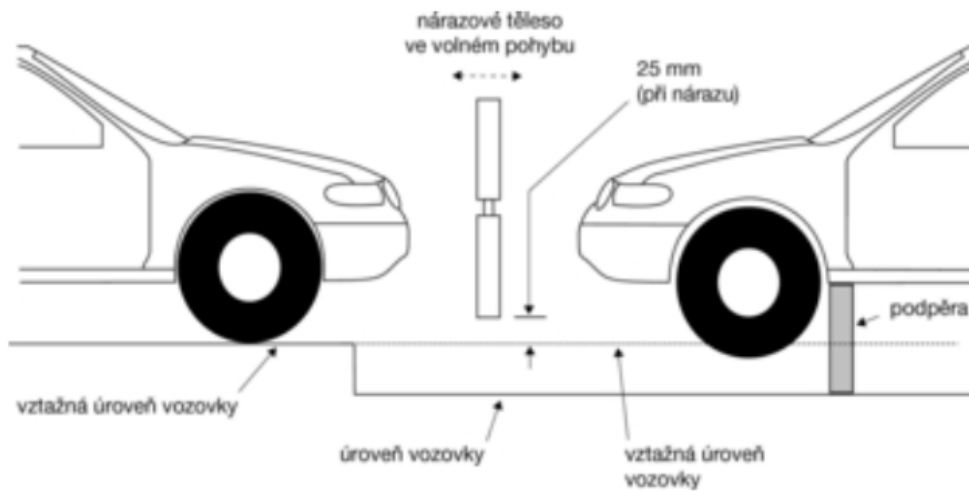
Nárazové těleso nebo alespoň pěnová svalovina se uchovávají po dobu nejméně čtyř hodin v kontrolovaných skladovacích prostorech se stabilizovanou vlhkostí $35 \pm 15\%$ a stabilizovanou teplotou $(20 \pm 4)^\circ\text{C}$ před vyjmutím nárazového tělesa kvůli provedení zkoušky. (22) Impaktor je pro každou jednotlivou zkoušku osazen novou pěnou a novými ligamenty.

Rychlost nárazu nárazového tělesa při střetu s nárazníkem je $(11,1 \pm 0,2)$ m/s. (22) Impaktor je vržen tak, aby v okamžiku nárazu do vozidla nebyl v kontaktu s žádnou částí vrhacího zařízení. Osa letu impaktoru je rovnoběžná s osou vozidla. Rovněž musí být zajištěno, aby letěl svisle, resp. maximálně $\pm 2^\circ$ od svislice a i v dalších osách aby rotoval minimálně, viz. následující obrázek.



Obr. 36 Dovolené odchylky impaktoru TRL LLEG před nárazem, (22)

Spodní část nárazového tělesa musí být v okamžiku nárazu 25 mm nad vztažnou úrovní vozovky, viz následující náčrt.



Obr. 37 Schéma vrhání impaktoru LLEG 25 mm nad vztažnou úrovní vozovky, (22)



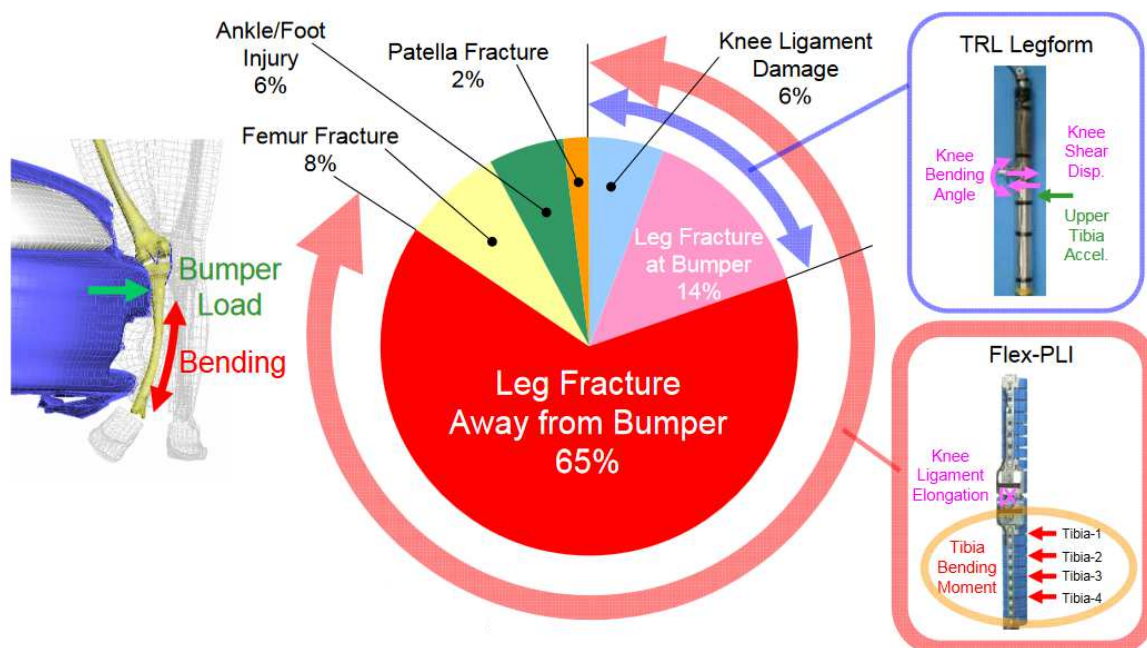
Obr. 38 Příklad testu impaktorem staršího impaktoru nohy LLEG (TRL) (23)

9.2.2. Nevýhody impaktoru LLEG (TRL)

Nejdůležitější nevýhodou tohoto nárazového tělesa je relativně malá biomechanická podobnost. Rovněž nejsou měřeny síly působící na kosti. Většina impaktorů má snímače připojené do měřicí techniky, která je stacionární a hrozí tak přetržení kabelů. „On board“ systémy měření, které by odstranily nutnost měření napřímo kabely se sice objevily, ale příliš se neprosadily.

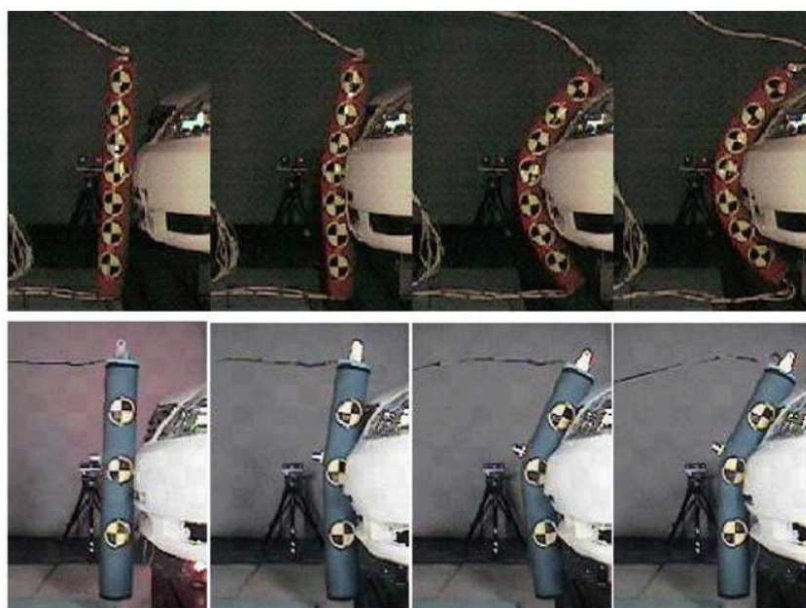
10. Porovnání LLEG a Flex PLI

Porovnáním impaktoru LLEG a Flex PLI se věnovalo několik výzkumů. Např. dle (24) pokrývá LLEG od TRL 20% poranění nohou, nový impaktor Flex PLI díky více snímačům až 85% poranění. Zdrojem byl výzkum dopravních nehod ITARDA v Japonsku a charakteristika zranění při dopravních nehodách získaná v dopravním výzkumu IRCOBI v Německu.



Obr. 39 Popis poranění nohy pomocí impaktoru TRL LLEG a Flex PLI. Starší typ popisoval poničení vazů a zlomeninu od hrany nárazníku. Novější, Flex PLI kromě toho zlomeniny nohy i mimo hranu nárazníku. (24) Pozn. součet procent autorům nedává 100% zřejmě kvůli zaokrouhlování.

Rozdíl mezi těmito impaktory je nejen v počtu snímačů, které popisují dopadnutí na vozidlo, ale už samotné koncepci, v konstrukci. LLEG od TRL s dvěma hlavními tuhými částmi se při nárazu chová jinak než impaktor Flex PLI, který má pružnou stehenní část, kolenní i holenní. Je to viditelné i z vysokorychlostního videa.



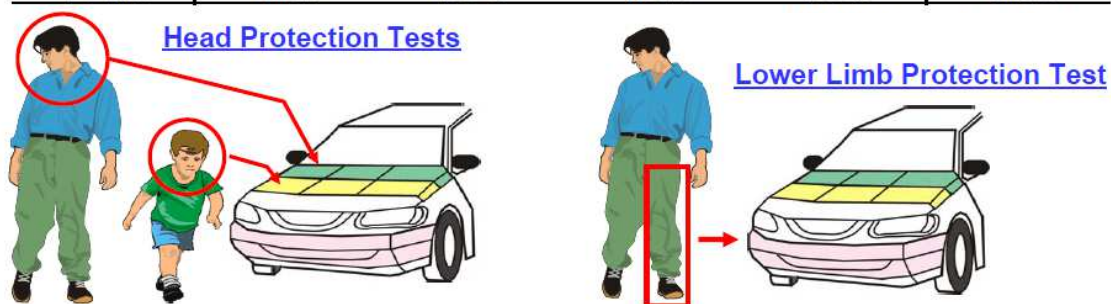
Obr. 40 Porovnání chování impaktoru TRL LLEG a Flex PLI při nárazu (25)

11. Konstrukce Flex PLI

11.1. Historie vývoje Flex PLI

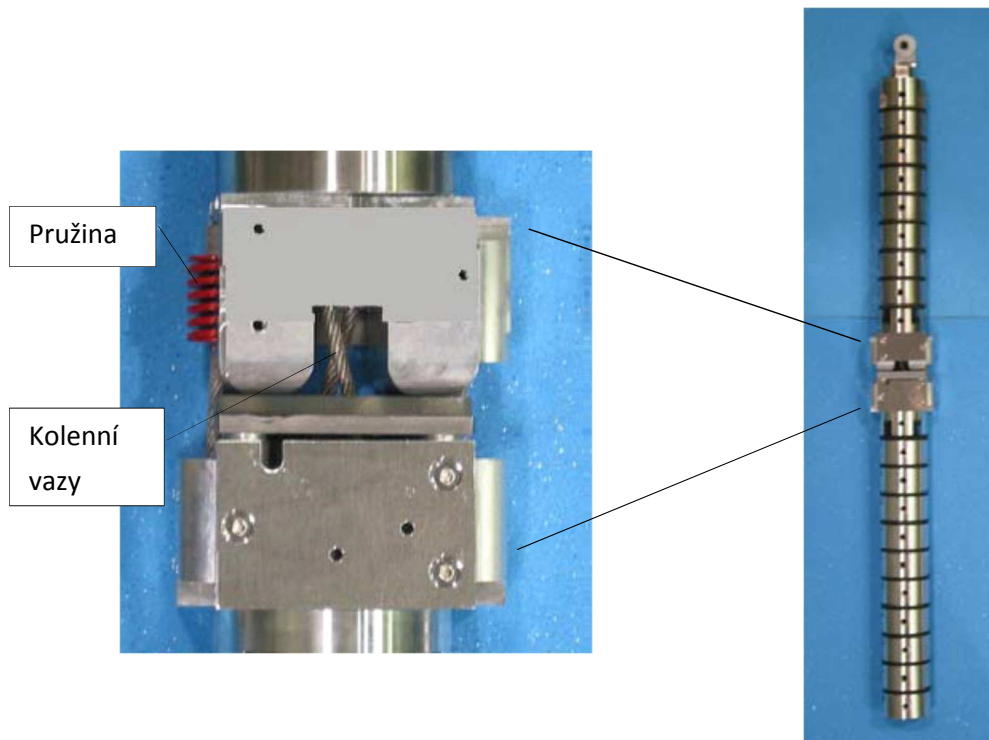
Vývoj impaktoru nohy, který by byl z hlediska biomechaniky blíže skutečné lidské noze měl důvod v relativně vysokém procentu poranění nohou při střetech automobil x chodec.

Body Region	USA (1994-1999)	Germany (1985-1998)	Japan (1987-1998)	Australia (1999-2000)	All Contries
Head	32.7%	29.9%	28.9%	39.3%	31.4%
Face	3.7%	5.2%	2.2%	3.7%	4.2%
Neck	0.0%	1.7%	4.7%	3.1%	1.4%
Chest	9.4%	11.7%	8.6%	10.4%	10.3%
Abdomen	7.7%	3.4%	4.7%	4.9%	5.4%
Pelvis	5.3%	7.9%	4.4%	4.9%	6.3%
Arms	7.9%	8.2%	9.2%	8.0%	8.2%
Lower Limbs	33.3%	31.6%	37.2%	25.8%	32.6%
Unknown	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%	0.2%
TOTAL	100%	100%	100%	100%	100%

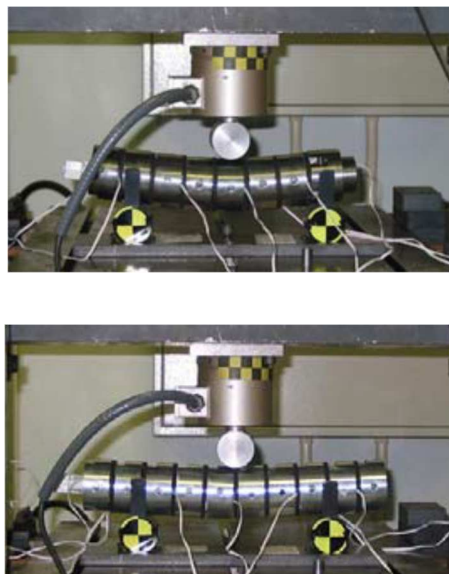


Obr. 41 Oblasti zranění chodců, výzkum vedoucí k vývoji Flex PLI (26)

Zároveň se ukázal impaktor LLEG jen jako vývojová část, na které je potřeba dále pracovat. Jeho relativně malá biomechanická podobnost s lidským tělem vedla k vývoji vyspělejšího impaktoru. Ten nejenže více odpovídá chování lidské nohy (zejména v oblasti kolene a holeně), ale hlavně má více snímačů a dokáže tak náraz více popsat. Vývoj inicioval Japonský automobilový výzkumný institut JARI a Japonská asociace výrobců automobilů JAMA v roce 2001. V roce 2002 byla vyrobena jeho první verze Flex PLI 2002. Impaktor měl ohebné dlouhé kosti (stehenní/holení) a systém kolenních vazů podobný lidskému. Kromě toho měl impaktor možnost měřit ohybové momenty na několika místech na holeni i stehně. Blíže popsáno v (26).



Obr. 42 Systém kolenních vazů na impaktoru Flex PLI 2002 (27)



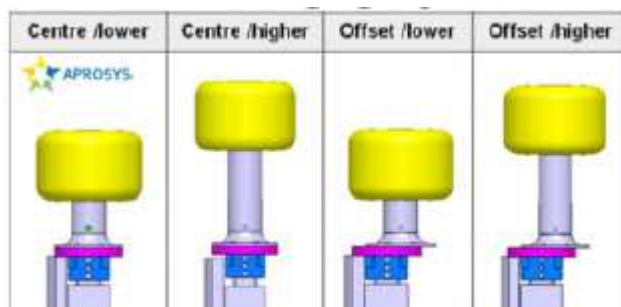
Obr. 43 Stehenní a holenní část impaktoru Flex PLI 2002 je již ohebná a zároveň je možné tento ohyb měřit (27)

11.2. Verze impaktoru Flex PLI

Impaktor, který splňuje požadavky předpisů jak homologačních (použití vyžaduje ECE 127.01 od 01/2015, nyní ECE 127.02), tak spotřebitelských (Euro NCAP nejnovější protokol 8.3, prosinec 2016) je vybaven třemi tenzometry na stehenní „kosti“, čtyřmi potenciometry a akcelerometrem v oblasti kolene a čtyřmi tenzometry v oblasti holeně. Pro vývojové účely je možné osadit impaktor dle (28) dalšími až 32 snímači, pro sledování dějů jako je např. detailní pohyb holeně a stehna.

11.2.1. Nové verze impaktoru nohy

Vývoj impaktoru jde samozřejmě dál a proto se testují nové verze, které by měly být biomechanicky blíže lidskému tělu. Zatím lze hovořit od dvou verzích od dvou pracovních skupin. Jednou je pracovní skupina dosavadního hlavního výrobce Humanetics. Jejich impaktor je velmi podobný stávajícímu, na horním konci je ovšem přidána hmota tak, aby zatěžovala stehno a celou nohu jako to u skutečné srážky dělá trup, resp. pánev. Druhá skupina jde dál a kromě přidané hmoty v horní části přidává snímače, oblast pánve je více tvarově propracovaná a řeší i druhý konec impaktoru, tedy přidává kloub kotníku.



Obr. 44 Model impaktoru Flex PLI s přidanou hmotou na horním konci (29)



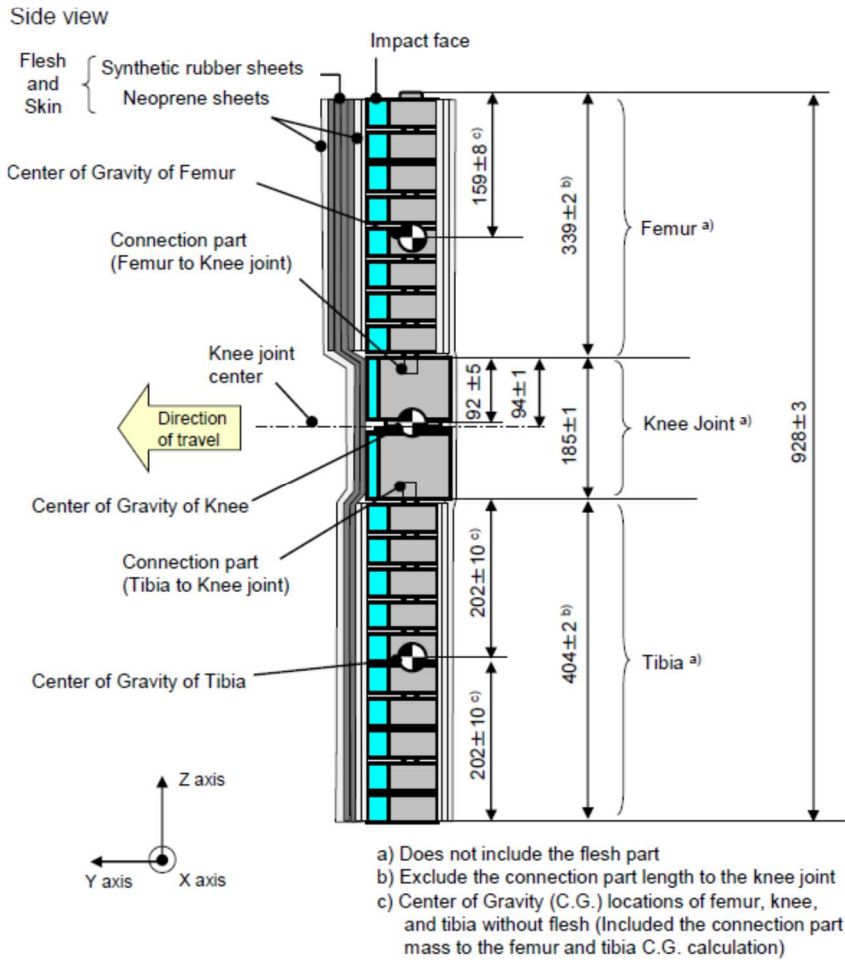
Obr. 45 Model impaktoru Flex PLI s přidanou hmotou na horním konci v porovnání s vozidlem (30)



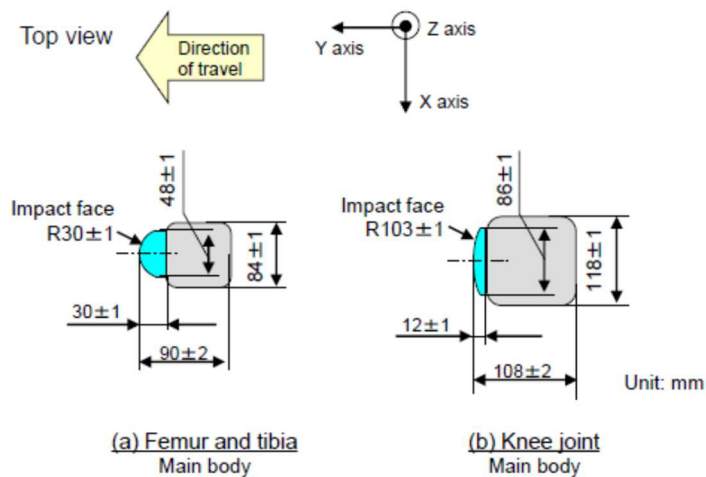
Obr. 46 Model impaktoru Flex PLI s přidanou pohyblivou hmotou na horním konci (31)

11.2.2. Schéma stávajícího, legislativou uznaného impaktoru nohy

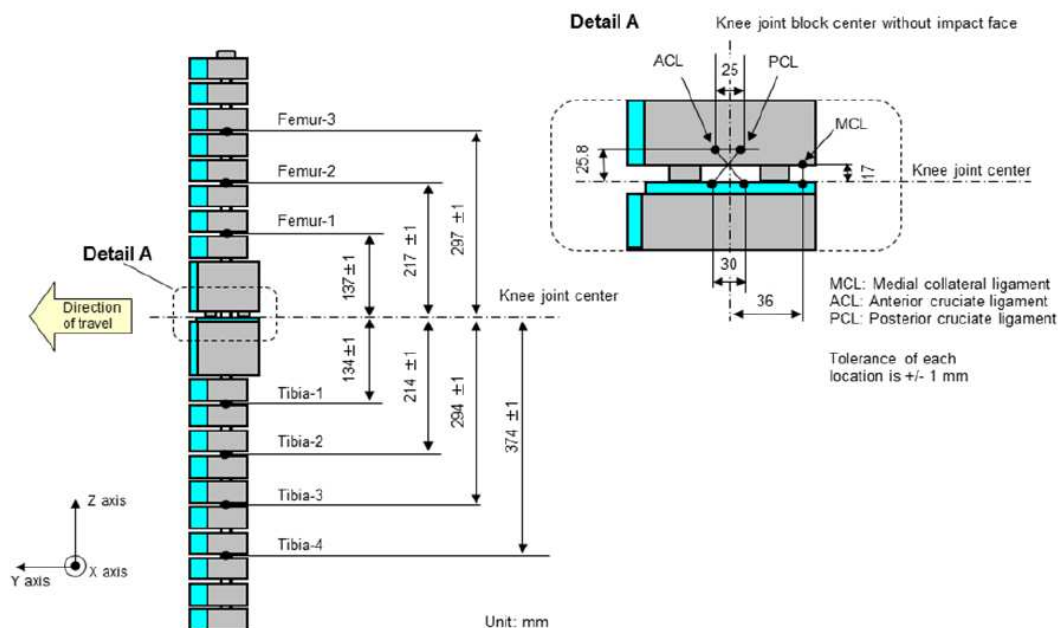
Dále se tato práce zabývá nejnovějším legislativně uznaným impaktorem nohy, který je používán i ve spotřebitelských testech a jeho výsledky jsou opakovatelné.



Obr. 47 Rozměry a těžiště stehna, kolene a holeně dle předpisu ECE 127.01 (16)



Obr. 48, Schématické znázornění stehna, tibie a kolena s rozměry dle homologačního předpisu ECE 127.01 (16)

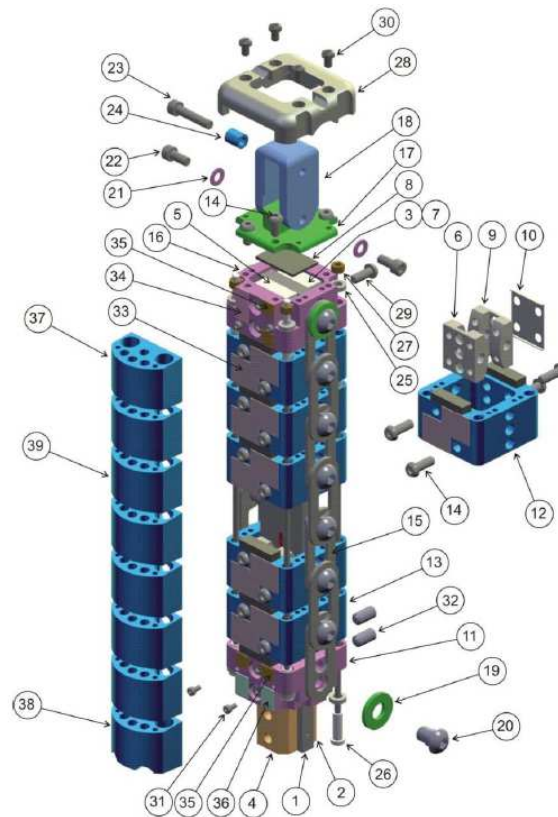


Obr. 49 Rozmístění snímačů na impaktoru Flex PLI, dle homologačního předpisu ECE 127.01, (16), výrobce pro vývojové testy dokáže impaktor osadit až 44mi snímači

11.3. Stehenní část

11.3.1. Konstrukce

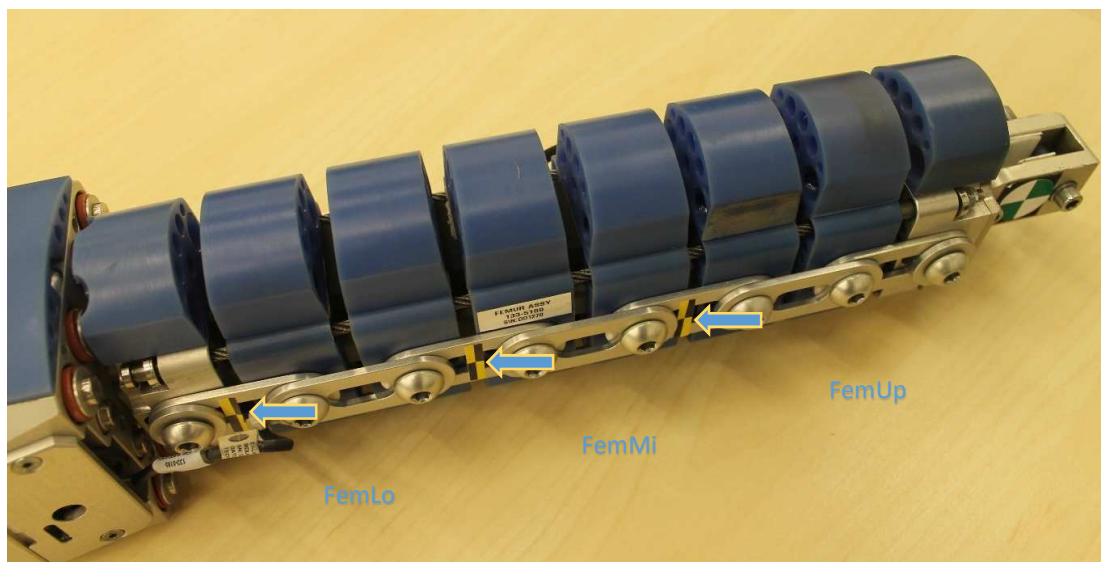
Nejdůležitější prvek ve stehenní části je tzv. kost. Je to hranol kompozitního materiálu vyztužený skelným vláknem, který je hlavním pružným prvkem stehna. Materiál byl dlouho problematickým místem impaktoru, jelikož musí být dlouhodobě dynamicky namáhatelný s opakovatelností na výsledcích ohybu. Stávalo se na prvních prototypy, že povrch degradoval a praskal, což může být nevhodné nejen kvůli opakovatelnosti, ale i možnosti odlepení tenzometru. Když se tenzometr odlepí, obvykle se to řeší rovnou nákupem celé nové kosti s originálně nalepenými tenzometry. Na tento hranol jsou navlečeny segmenty z plastu s jakýmsi „kolébkami“ uvnitř, dohromady spojené oválnými plechovými očky. Mezi segmenty jsou pryžové podložky, které umožňují ohýbání celé sestavy. Skrz segmenty jsou protažena čtyři ocelová lana, která fungují jako doraz při propružení kosti. Délka těchto lan má definovanou vůli 9,1 mm, která se musí kontrolovat. Na nárazové části každého segmentu je nalepen kryt. Na horním konci je připevněn kvádr z hliníku s malou kladkou. Před testem se impaktor zavěsí kladkou na kulatinu stroje či vrhače. Při vlastním testu impaktor z kulatiny sjede a letí na testovaný vzorek. Na horním konci může a nemusí být pryžová krytka. V některých laboratořích je nahrazována kovovou destičkou pro připojení záchytného lanka. Spodní část stehna je dvěma čelistmi upevněna v svěrném spojem v koleně.



Obr. 50 Rozpad stehenní části impaktoru (32)

11.3.2. Snímače

Na ohybové části stehna jsou tři tenzometry, označené jako Femur High (FemHi), Femur Middle (FemMi) a Femur Low (FemLo). Pokud je někde potřeba, bývají označovány číselně směrem od kolene 1 – 3. Jejich kabely jsou obvykle spojeny do jednoho a přivedeny v jedné zásuvce do kolene, kde se v případě „in dummy“ systémů nachází záznamové zařízení. Snímače na stehenní části běžně měří, ale jejich signály nejsou vyhodnocovány z hlediska předpisů jako limitující, ani během certifikace, pouze jako monitoring. Definice doby hodnocení, tedy doby dopadu je postavena na tenzometrických snímačích stehna a holeně. Počátek je dán prvním dotykem, konec časem, kdy signály stehna i holeně po svém maximu protnou nulu.

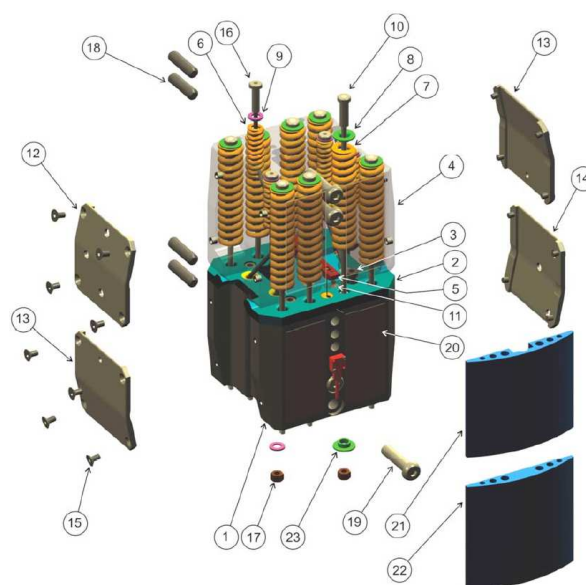


Obr. 51 Stehenní část z přední, nárazové strany s naznačeným umístěním snímačů

11.4. Kolenní část

11.4.1. Konstrukce

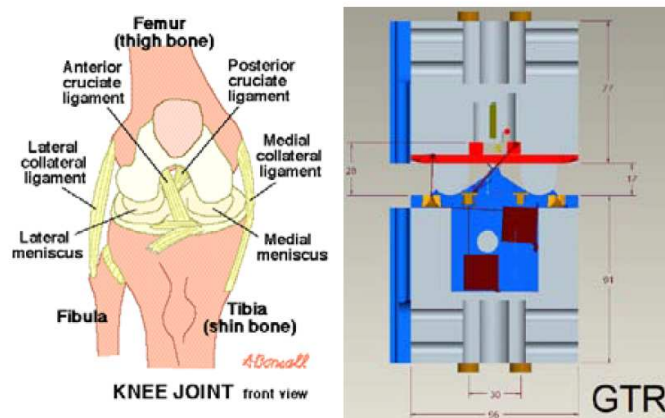
Kolenní část impaktoru je relativně mohutná. Jsou to dva frézované hliníkové bloky, spojené osmi velkými ocelovými lany na přední a zadní straně a čtyřmi menšími uvnitř, která simulují křížové vazy. Tato lana jsou protažena pružinami, které dovolují pohyb kolene. Dosedací plochou mezi hliníkovými bloky je vložený plastový kus, který zároveň slouží k uchycení potenciometrů. Plastové jsou také krytky na nárazové straně kolena. Pod jednou z nich bývá akcelerometr. V mnoha laboratořích bývá použit impaktor s „in dummy“ vybavením, tedy se záznamem dat jako součástí impaktoru. Umožňuje to dělat testy bez ovlivnění letícími kabely a bez možnosti jejich přetrhnutí.



Obr. 52 Rozpad kolenní části impaktoru

11.4.2. Snímače

V kolenní části jsou čtyři potenciometry popisující jeho pohyb. Na nárazové straně je to LCL (Lateral collateral ligament), symetricky k němu na nenárazové straně MCL (Medial collateral ligament). Pro měření prodloužení v místě křížových vazů slouží ACL (Anterior cruciate ligament) a PCL (Posterior cruciate ligament). Signály ACL, PCL, MCL se vyhodnocují a mají své limity v předpisech, LCL nikoli, může sloužit pro vývoj, monitoring. Z podobného důvodu, a tedy bez limitů, je na koleně na nárazové straně akcelerometr.



Obr. 53 Popis lidského kolene jako předlohy pro impaktor (33)

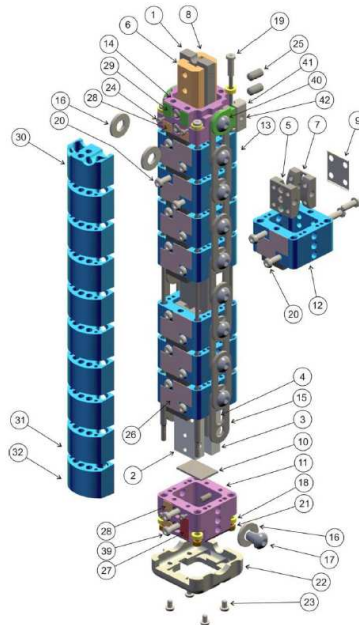


Obr. 54 Kolenní část impaktoru

11.5. Holenní část

11.5.1. Konstrukce

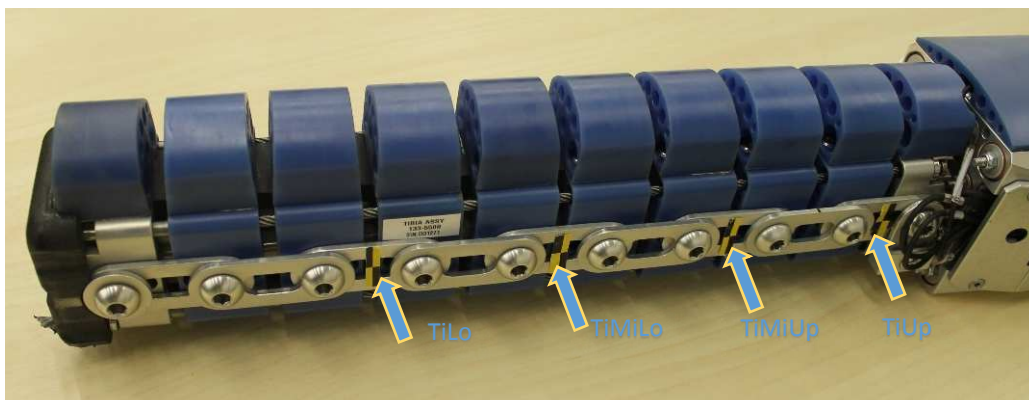
Podobně jako u stehna, hlavní částí holenní části impaktoru je pružná „kost“, ze stejného materiálu jako v konstrukci stehna. Rozdíl je v délce a množství snímačů. V ostatní konstrukci jsou stehno a holeň v podstatě stejné.



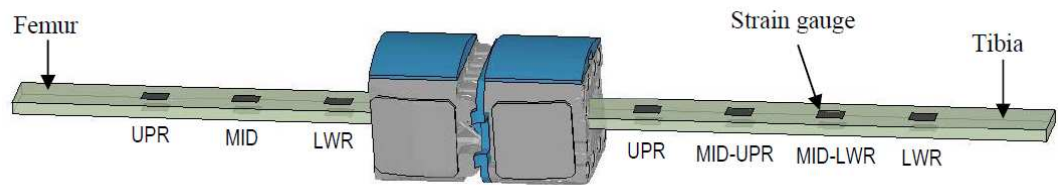
Obr. 55 Rozpad holenní části impaktoru (32)

11.5.2. Snímače

Na holenní části impaktoru jsou čtyři tenzometrické snímače pro měření ohybu kosti. Jsou označeny odshora TiUp (Tibia Upper), TiMiUp (Tibia Middle Upper), TiMiLo (Tibia Middle Lower) a TiLo (Tibia Lower). Všechny mají své limity v předpisech, homologačních i EuroNCAP.



Obr. 56 Holenní část impaktoru s naznačenými polohami tenzometrů



Obr. 57 Přehled umístění tenzometrů na holení a stehenní části (34)



Obr. 58 Impaktor Flex PLI, verze bez kabelů s „onboard“ záznamem dat



Obr. 59 Impaktor Flex PLI s odepnutými pryžovými a neoprenovými částmi

12. Certifikace Flex PLI

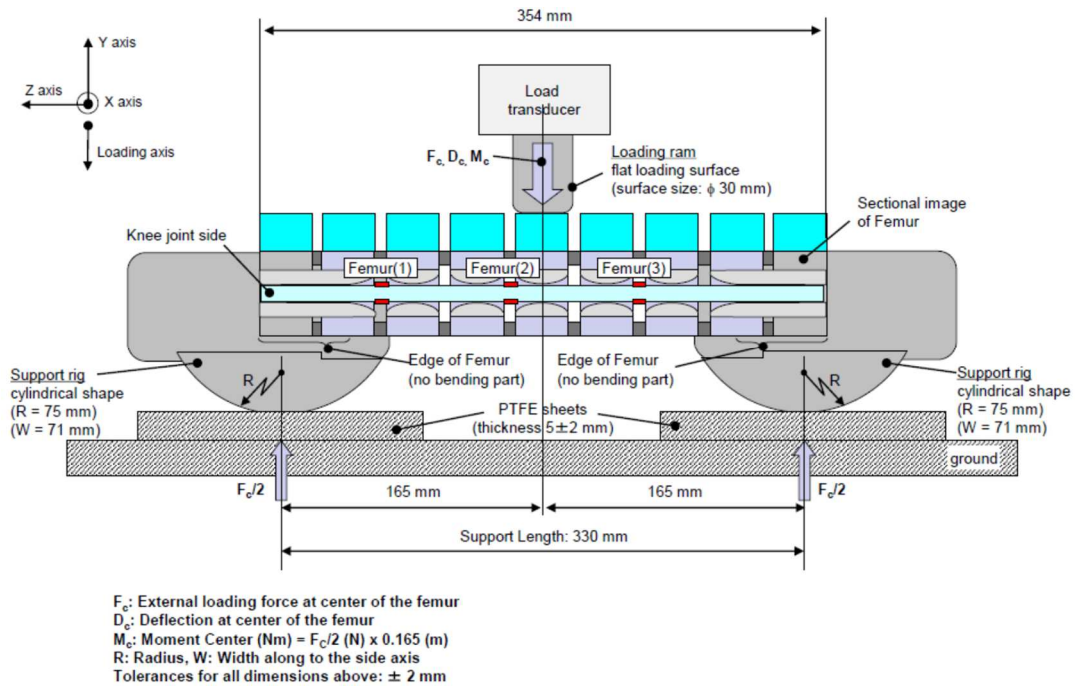
Tak jako ostatní impaktory, i Flex PLI se musí v průběhu zkoušení ověřovat, certifikovat. Toto ověření zajišťuje to, že se impaktor na zkouškách nepoškodil a že snímače měří správně. Lze rozdělit na statickou a dynamickou (ta dále na kyvadlovou a inverzní).

12.1. Statická certifikace

Homologačním předpisem je vyžadována ročně. Jde o zatěžování jednotlivých oddělených částí impaktoru (stehno, koleno, holeň) ohybem.

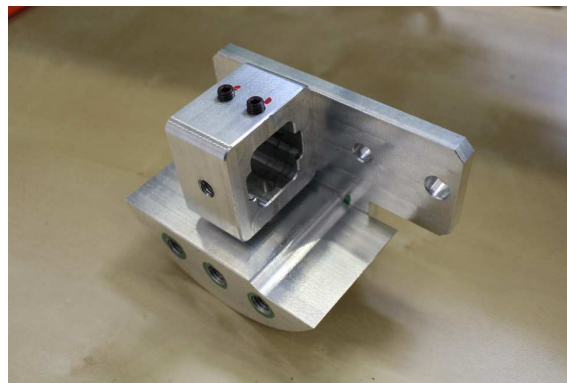
12.1.1. Statická certifikace stehna

Stehenní část se oddělí od zbytku impaktoru a šrouby na plastových segmentech se utáhnou utahovacím momentem 3 Nm. Poté je zatěžována podle následujícího náčrtu.



Obr. 60 Nastavení statické certifikace stehenní části impaktoru (16)

Na konce stehna se připevní speciální koncovky s přípravkem o poloměru 75 mm, který zajistí odvalení při propružení. Pod nimi je destička z PTFE (teflonu) kvůli nízkému koeficientu tření.



Obr. 61 Koncovka kosti pro statickou certifikaci

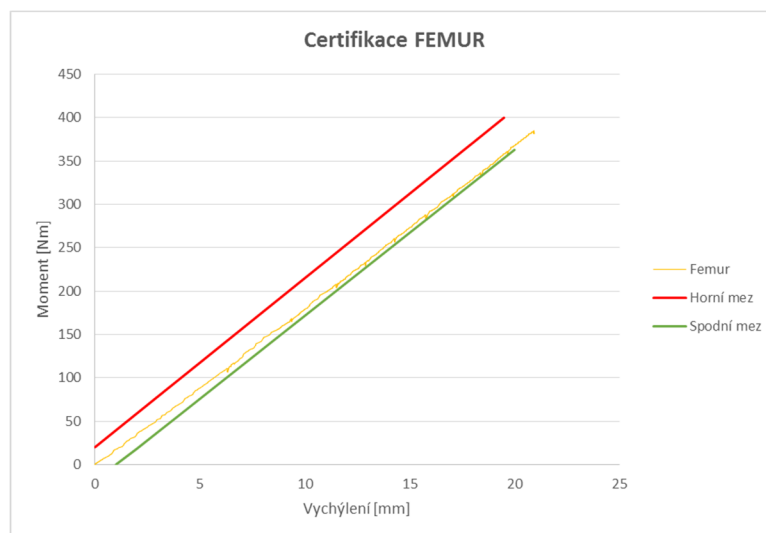
Po umístění osazeného stehna do certifikačního zařízení se tlačný člen přiblíží na dotyk impaktoru, zatíží se předpětím přibližně 100 N kvůli vymezení vůlí v systému a provede se offset. Po spuštění měřicího procesu se záznamem dat se může zkoušená část zatěžovat.

Zatěžování probíhá pomalu (10 – 100 mm/min), přípustné je strojové (čerpadlo, šroub...) i ruční zatěžování (hydraulická pumpa apod.). Na střední člen stehenní části tlačí válec připevněný k siloměru. Ohybový moment, který se zde vyvozuje odpovídá

$$M = \frac{F[N]}{2} \cdot 0,165 [m]$$

R. 2

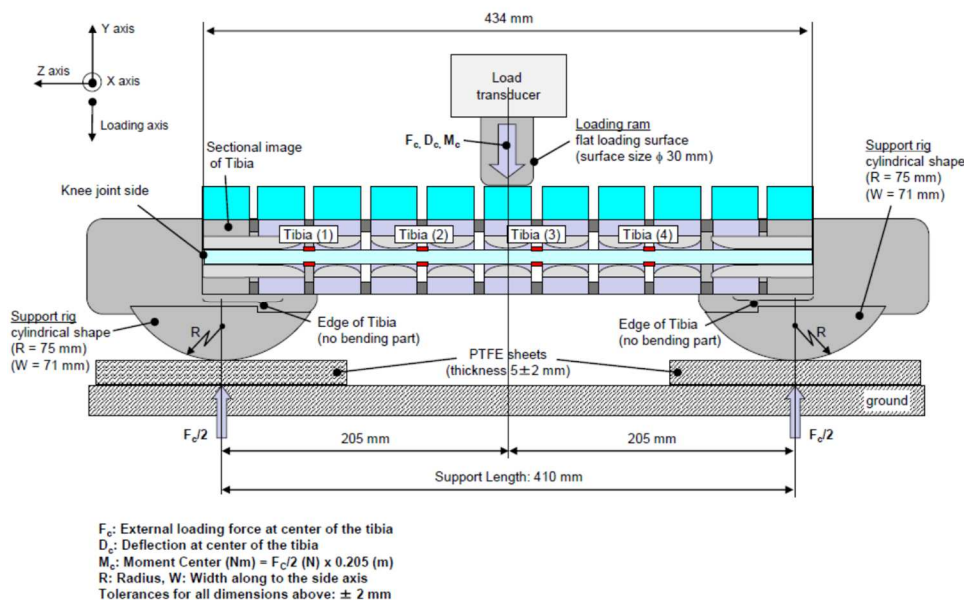
Zároveň je sledován posuv tlačného členu, tzv. intruze. Tato zatěžovací křivka musí být uvnitř definovaných koridorů.



Obr. 62 Příklad zatěžovací křivky statické certifikace stehenní části s naznačenými koridory

12.1.2. Statická certifikace holeně

Holenní část se, podobně jako stehno, oddělí od zbytku impaktoru a dotáhnou se šrouby na 3 Nm. Pak se zatěžuje podle následujícího náčrtu.

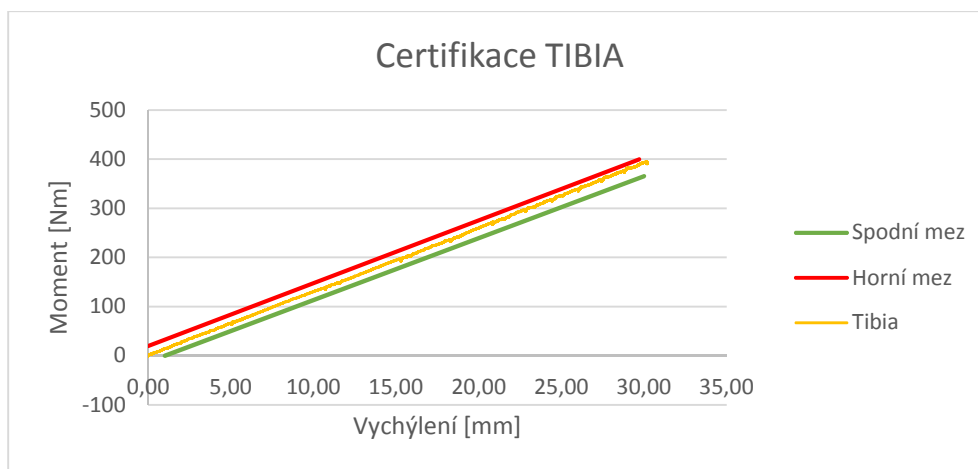


Obr. 63 Nastavení statické certifikace holenní části impaktoru (16)

Certifikace holenní části je velmi podobná té stehenní, s rozdílem v rozměrech. Proto se ohybový moment vypočítá

$$M = \frac{F[N]}{2} \cdot 0,205 [m] \quad R. 3$$

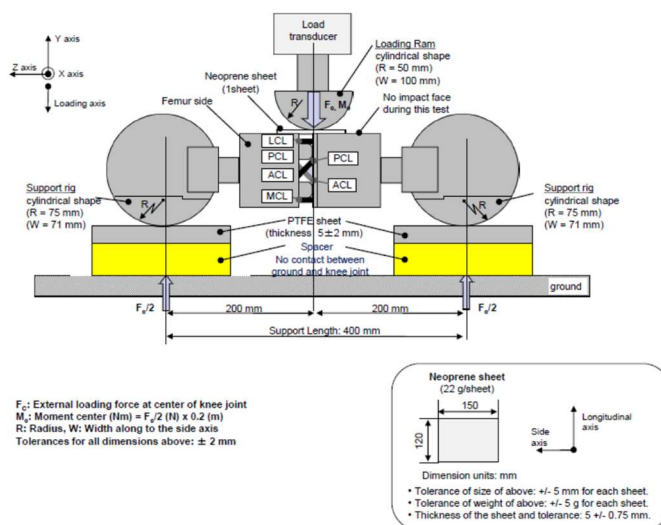
Současně s tímto momentem je sledována intruze. Kombinací těchto dvou veličin vzniká graf pro zhodnocení certifikace. Opět musí křivka ležet uvnitř definovaných koridorů.



Obr. 64 Příklad zatěžovací křivky statické certifikace holenní části s naznačenými koridory

12.1.3. Statická certifikace kolena

Před statickou certifikací kolena se zkontroluje souběžnost obou částí, poté je certifikace prováděna podle následujícího náčrtu.



Obr. 65 Nastavení statické certifikace kolenní části impaktoru (16)

Koleno, oddělené od holeně i stehna se pomocí speciálních koncovek připevní ke stejným přípravkům jako předešlé části. Opět poloměr přípravku 75 mm zajistí minimální odpor při zatěžování. Rovněž jsou zde teflonové destičky kvůli nízkému součiniteli tření. Tlačný člen je nyní „půlválec“ o poloměru 50 mm. Během zatěžování je zajištěno, aby jeho pohyb byl pouze v jedné ose, tedy nahoru a dolů. Střed tlačného členu míří na střed kolene. Mezi tento člen a koleno je umístěn kousek neoprenu kvůli ochraně impaktoru. Tlačný člen se opět přiblíží na dotyk impaktoru, zatíží se předpětím přibližně 100 N kvůli vymezení vůlí v systému a provede se offset. Po spuštění měřícího procesu se záznamem dat se může zkoušená část zatěžovat. Rychlost zatěžování je stejná 10 – 100 mm/min.



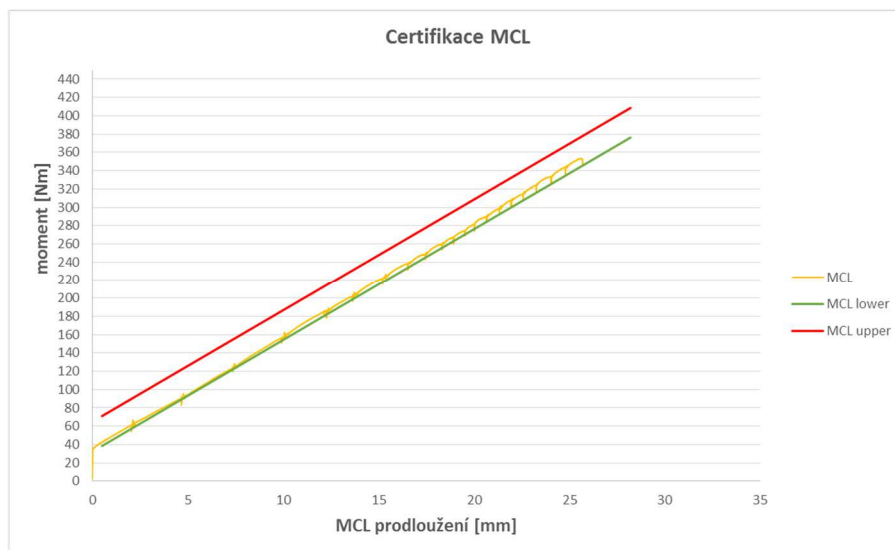
Obr. 66 Kolenní část impaktoru připravená ke statické certifikaci

Pro certifikaci kolene rovněž potřebujeme moment, který se vypočítá dle

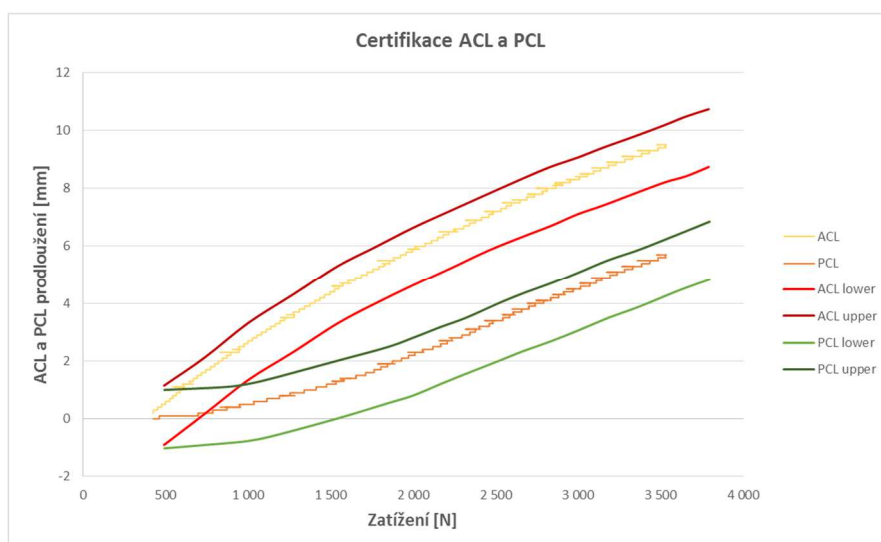
$$M = \frac{F[N]}{2} \cdot 0,2 [m]$$

R. 4

Tento moment je použit pro certifikaci potenciometru MCL, který je na nenárazové straně impaktoru. Potenciometry ACL a PCL, které měří křížové vazy jsou vyhodnocovány přímo pomocí síly naměřené na siloměru za tlačným členem. Na křivkách se může objevit zvlnění způsobené ručním zatěžováním přes hydraulickou pumpu, není na závadu.



Obr. 67 Příklad křivky certifikace kolene, konkrétně potenciometr MCL, včetně koridorů



Obr. 68 Příklad křivky certifikace kolene, potenciometry ACL a PCL, včetně koridorů

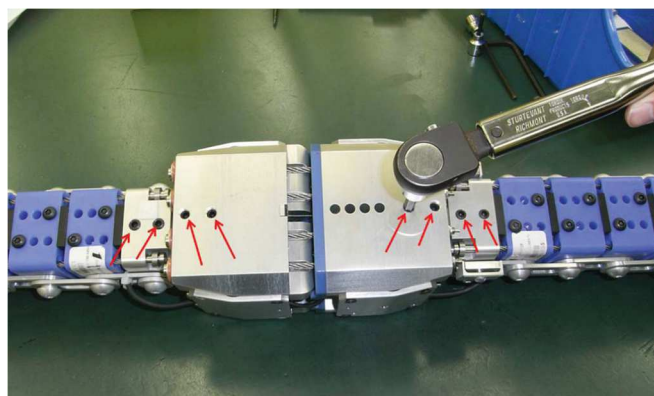
12.2. Dynamická certifikace

Dynamické certifikace impaktoru spodní nohy rozeznáváme dvě. Je to kyvadlová, tzv. pendulum a inverzní. Inverzní a pendulum se střídá tak, že je mezi nimi maximálně 10 testů do vozidla v tomto schématu: IC-PC-PC-IC-PC-PC-atd.

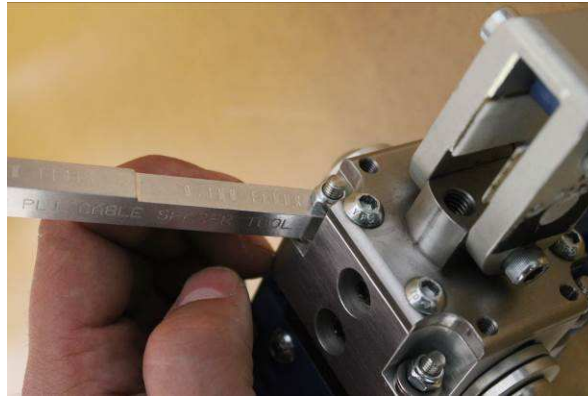
12.2.1. Dynamická certifikace kyvadlová

Kyvadlová, tzv. pendulum certifikace je relativně jednoduchou metodou ověření správné funkčnosti impaktoru. Je navržena pro rychlé ověření, ale není svým charakterem tolik podobná reálnému testu na automobilu.

Na certifikace pendulum, inverzní i na test, musí být impaktor zkontrolován a připraven. Tato kontrola přispívá k správnému naměření sledovaných hodnot, opakovatelnosti testů a snižuje i riziko poškození impaktoru. Dle návodu firmy Humanetics (32) musí pro dosažení správných výsledků proběhnout kontrola „souběžnosti“ horních a dolních modrých krytek, kontrola částí kolene, aby na sobě dobře seděly - tedy jejich zadní části musí být v rovině. Šrouby držící holenní a stehenní část v kolenu mají být dotaženy na 8 Nm, malé šrouby v plastových segmentech holeně a stehna mají být dotaženy na 3 Nm. Svalovina i obaly (pryžové a neoprenové části) musí být umístěny ve správné poloze a řádně upevněny. Svislá lana pro zachycení dorazů holeně a stehna jsou umístěna volně s daným přesahem (stehenní 9,1 mm, holenní 10,3 mm).

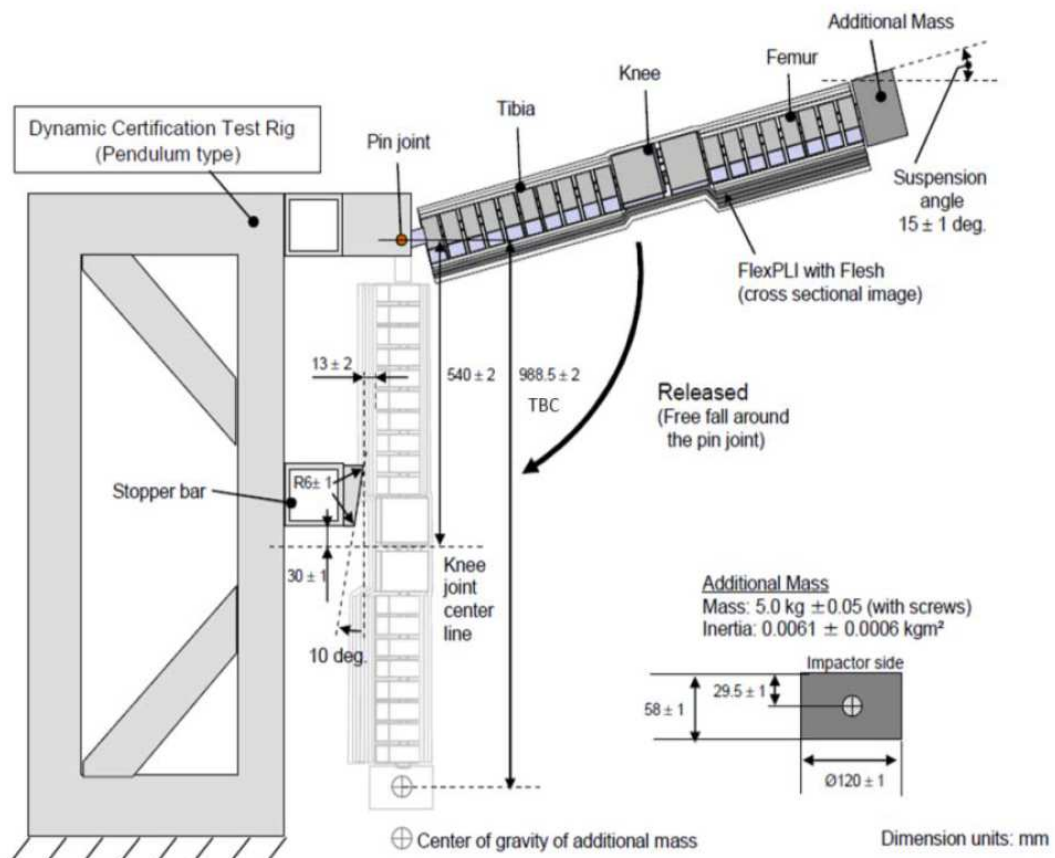


Obr. 69 Dotažení šroubů kolena (32)



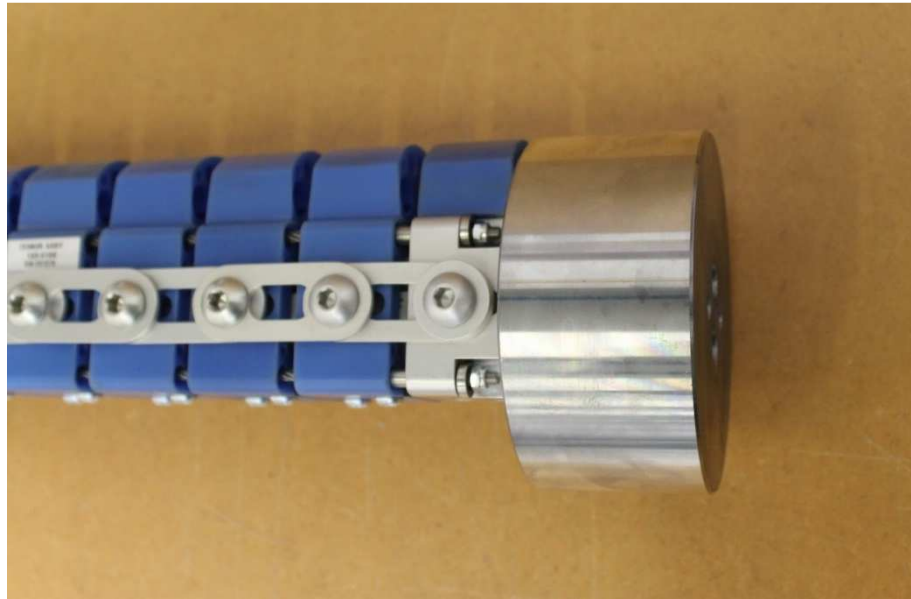
Obr. 70 Kontrola délky lan se provádí pomocí speciální „měrky“. Pro stehenní lana je to 9,1 mm, pro holenní 10,3 mm.

Vlastní kyvadlová certifikace pak probíhá dle následujícího schématu.



Obr. 71 Schéma kyvadlové certifikace impaktoru Flex PLI s naznačenými rozměry a přidavným závažím (32)

Během této certifikace je impaktor zavěšen obráceně, tedy holení nahoru, v jednoduchém závěsu. V oblasti kolena je dorážecí klín s definovanými rozměry. Na konci impaktoru, na stehenní části, je závaží o hmotnosti $5 \pm 0,05$ kg.



Obr. 72 Závaží (5 kg) na konci stehenní části impaktoru, připravené pro kyvadlovou certifikaci

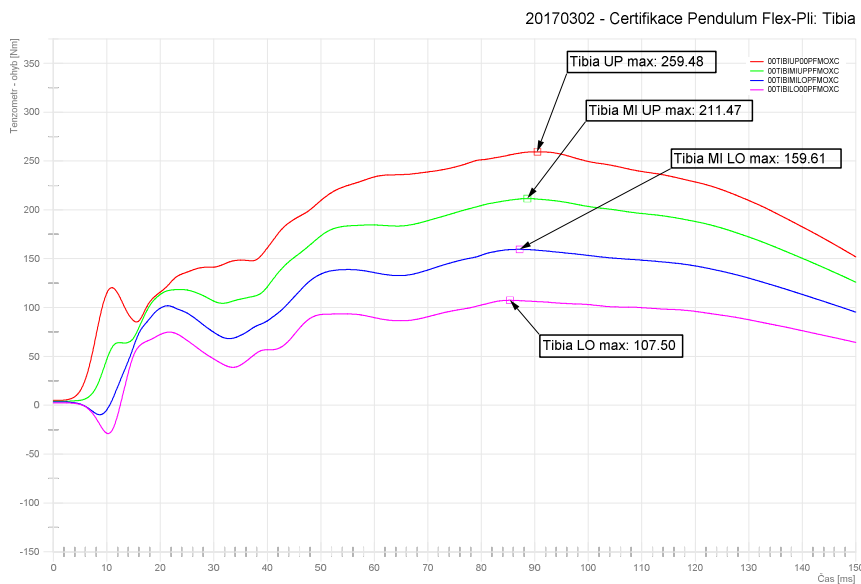


Obr. 73 Impaktor při pendulum certifikaci, zavěšený za holeň, se závažím na stehenní části

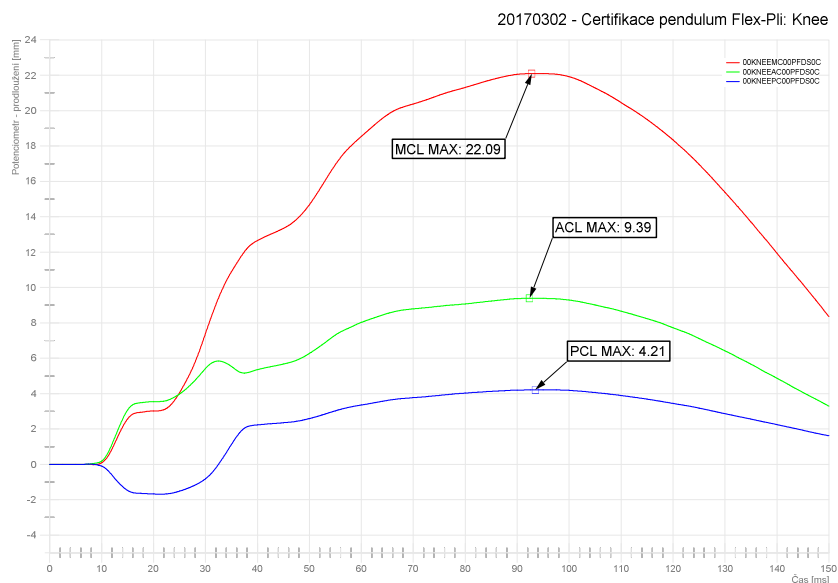
Impactor se zvedne 15° nad horizontálu a spustí se proti dorazovému klínu. Při ohybu, který nastane se hodnotí maxima naměřených veličin. Hodnoceny jsou stejné veličiny jako na testu do automobilu, tedy všechny tenzometry na holeni (tibii) a potenciometry ACL, PCL, MCL dle následující tabulky.

Tabulka 1 Limity pro splnění kyvadlové certifikace (32)

GTR Pendulum Certification Channels	Peak Moment @ Tibia Gage 1	Peak Moment @ Tibia Gage 2	Peak Moment @ Tibia Gage 3	Peak Moment @ Tibia Gage 4	Peak ACL Elongation	Peak PCL Elongation	Peak MCL Elongation
Unit	Nm				mm		
Upper	272	219	166	111	10.5	5.0	24.0
Lower	235	187	139	90	8.0	3.5	20.5



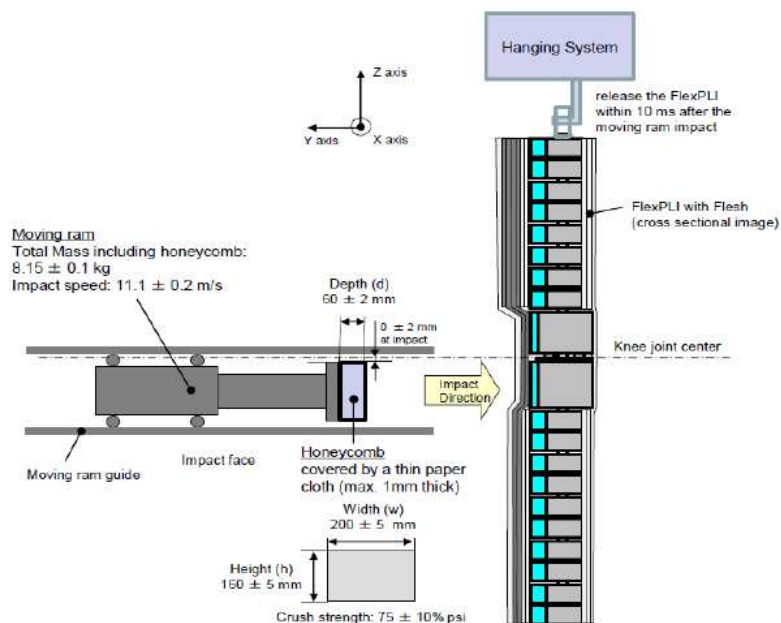
Obr. 74 Příklad signálů z tenzometrů holeně při pendulum certifikaci, čas zatěžování je relativně dlouhý, delší než je na běžném testu do automobilu



Obr. 75 Příklad signálů z potenciometrů v koleně při pendulum certifikaci

12.2.2. Dynamická certifikace inverzní

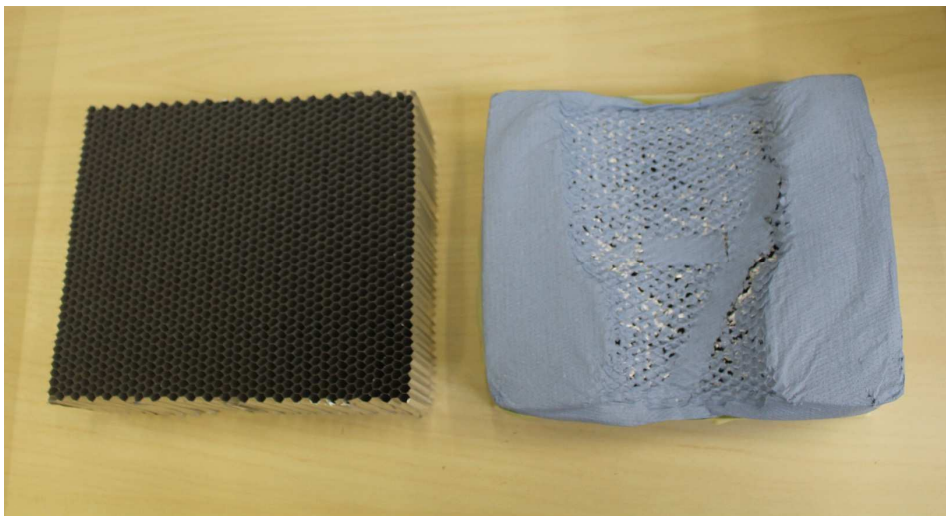
Další dynamickou certifikací, kterou musí impaktor projít je certifikace inverzní. Jak už sám název napovídá, situace je obrácená. Při běžném testu do automobilu je vzorek v klidu a přilétá impaktor. Zde je impaktor zavěšen a proti němu je vystřelen rychlostí $11,1 \pm 0,2$ m/s nárazový vozík.



Obr. 76 Schématický náčrt inverzní certifikace. Flex PLI impaktor je zavěšen a naráží do něj vozík s voštinou (16)

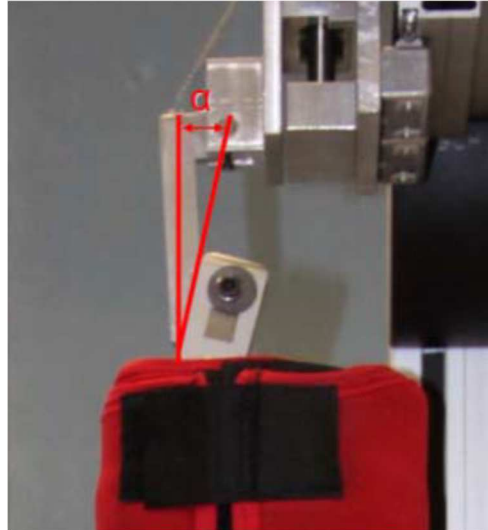
Tento vozík má definovanou hmotnost $8,15 \pm 0,1$ kg, dopadá do určeného místa (horní hrana nárazové desky míří na střed kolene) a na jeho přední straně je hliníková (5052) voština o definovaném deformačním odporu. Tato voština (honeycomb) je obdobou bariér na velkých crash testech. Voština o rozměrech $200 \pm 5 \times 160 \pm 5 \times 60 \pm 2$ mm má „deformační odpor“ $75 \pm 7,5$ psi (16) (ve směru nárazu do impaktoru), tak aby se test svými parametry blížil k nárazu impaktoru a vozidla. Zároveň je i definovaná velikost buněk, buď 3/16 palce nebo ¼ palce a hustota 2.0 libry na kubickou stopu (pcf) pro 3/16 palce velké buňky nebo 2.3 pcf pro ¼ palcové buňky (pozn. 1 pcf=16,02 kg/m³). (16)

Blok hliníkové voštiny se zabalí do papíru, aby při nárazu do impaktoru nepoškodil neopren. Poté se připevní na desku nárazového vozíku.



Obr. 77 Hliníková voština (honeycomb) nová a použitá, po inverzní certifikaci

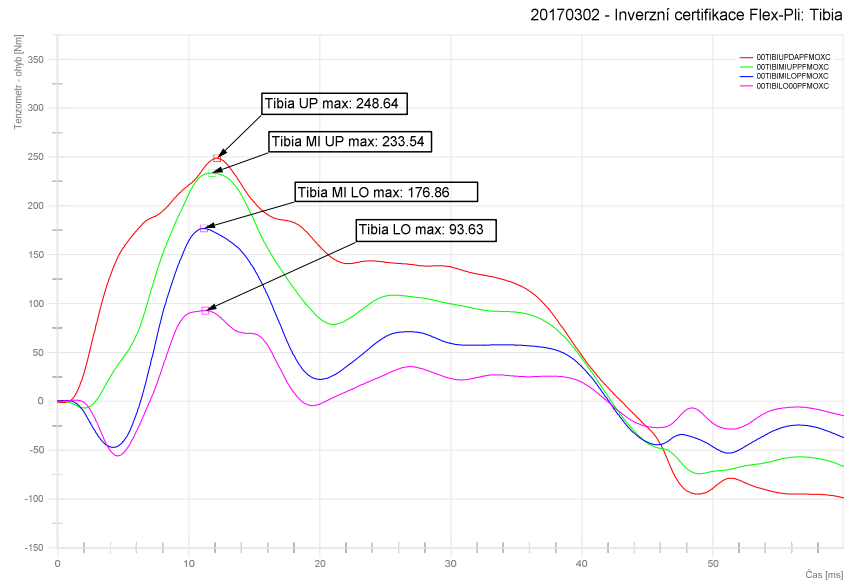
Impaktor je zavěšen obdobně jako na běžném testu do automobilu (stehnem nahoru, holení dolu, na rozdíl od pendulum certifikace). Držen je háčkem, který se při nárazu vozíku do impaktoru pootočí a nechá impaktor volně letět.



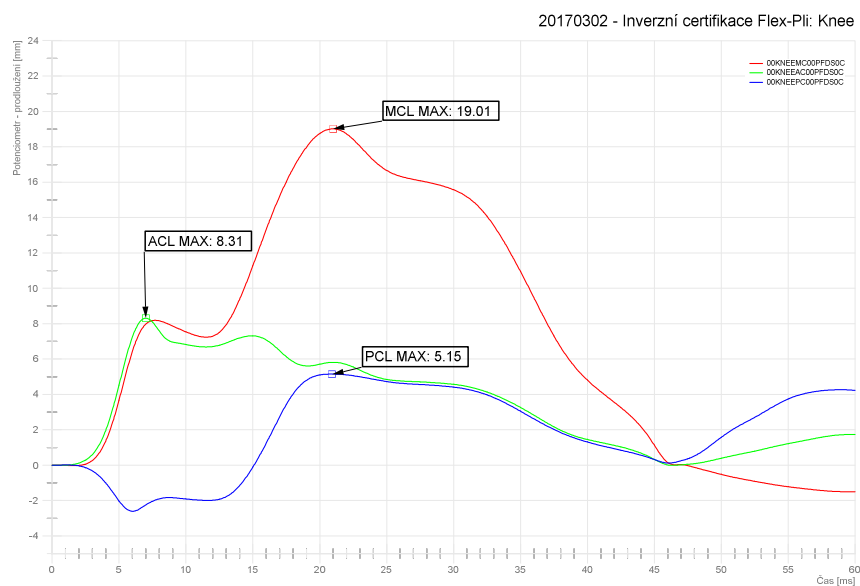
Obr. 78 Detail zavěšení impaktoru na odklopném háčku, je doporučeno závěsnou kostku o 15° naklonit dopředu. Impaktor pak dobře drží na háčku než do něj dorazí vozík a pak snadno sklouzne. (32)



Obr. 79 Naznačení dopadu nárazového vozíku s voštinou do visícího impaktoru. Na vedení vozíku jsou dorazy s hydraulickými tlumiči nárazu, které o nárazu do impaktoru zastaví vozík. K ovlivnění certifikace nedojde.



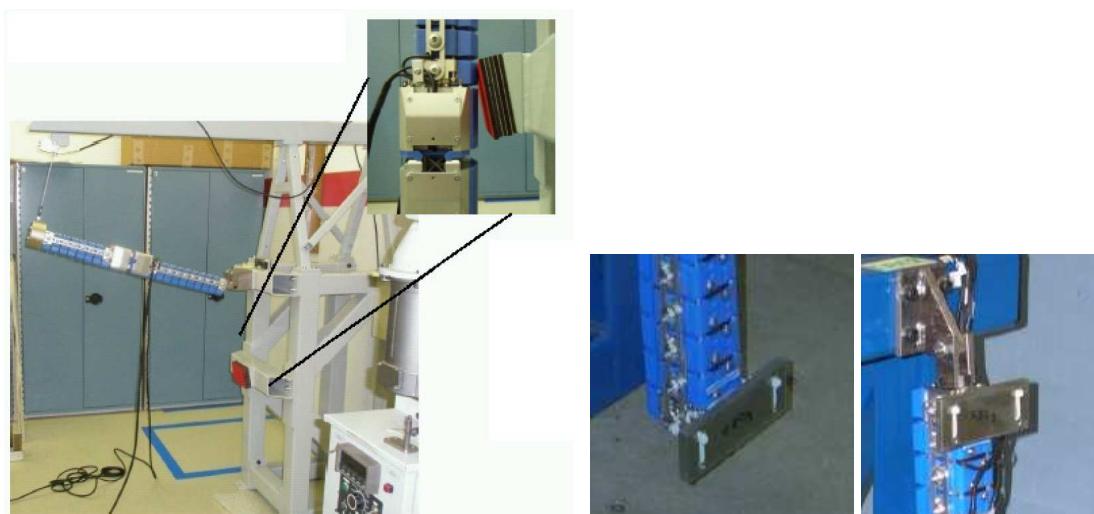
Obr. 80 Příklad signálů z tenzometrů v holeni při inverzní certifikaci, doba testu je kratší než na pendulum certifikaci, přibližně odpovídá testu na vozidle



Obr. 81 Příklad signálů z potenciometrů v koleně při inverzní certifikaci

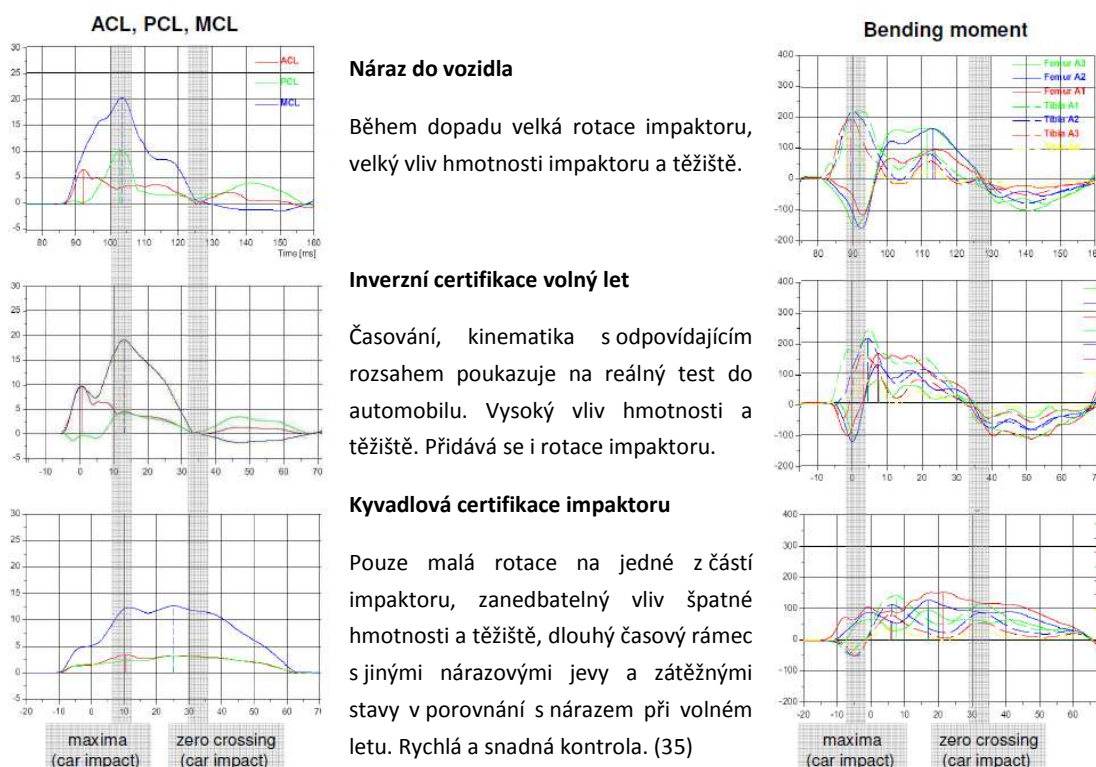
12.2.3. Vývoj a porovnání kyvadlové a inverzní certifikace

Tak jak procházel vývojem impaktor Flex PLI, tak i jeho certifikace doznala změn. Např. se experimentálně měnila přidávaná závaží, impaktor se v kyvadlové certifikaci používal bez „svaloviny“ (na rozdíl od reálného testu) apod.



Obr. 82 Vývoj certifikací nějakou dobu počítal i s impaktorem bez obložení po celé délce, byly prováděny experimenty se změnou hmotnosti i polohou těžiště (35)

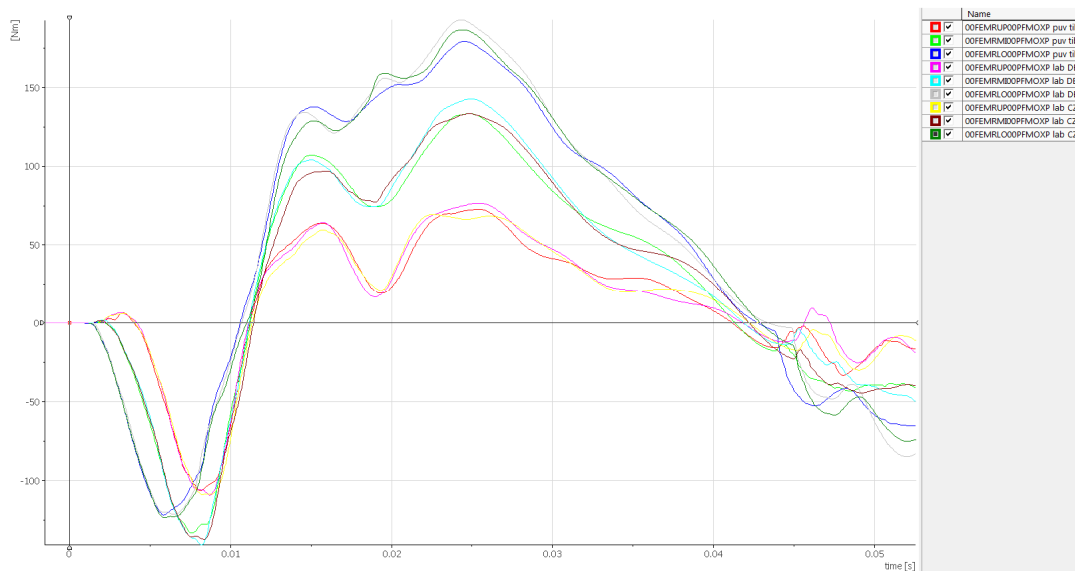
Důležité je ovšem porovnání obou dynamických certifikací a testu do vozidla. V následujícím obrázku jsou popsány nejdůležitější souvislosti.



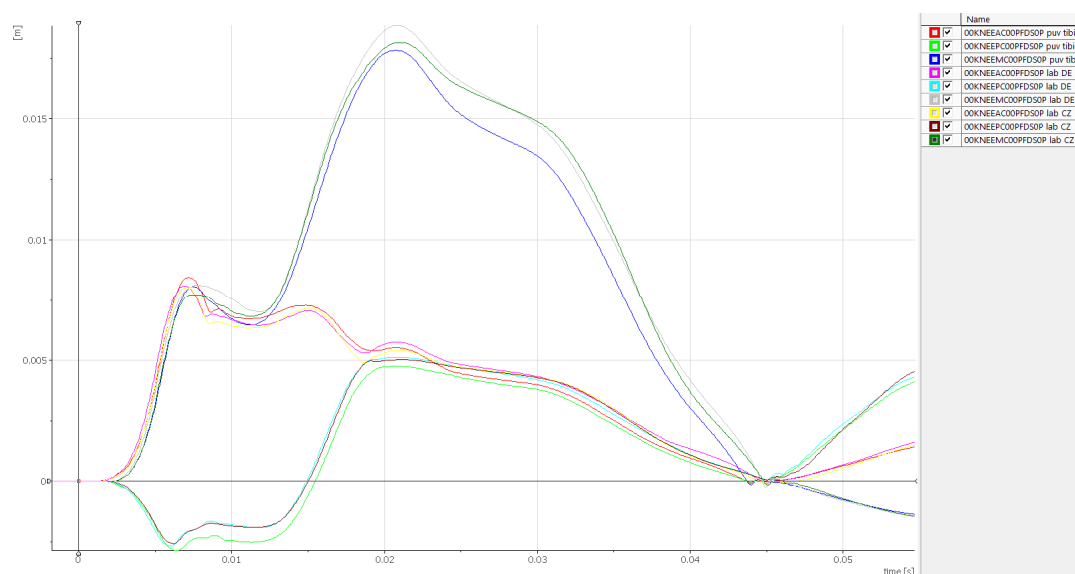
Obr. 83 Porovnání nárazu do vozidla, inverzní a kyvadlové certifikace (35)

12.3. Porovnání staré a nové kosti certifikace vůči testu

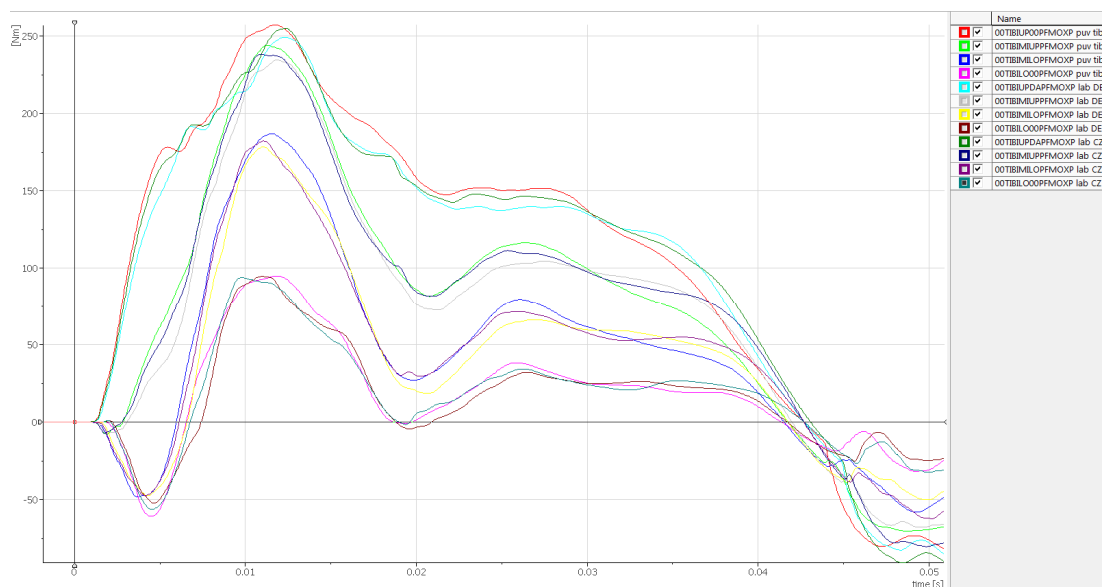
Na impaktoru se v průběhu používání poškodil jeden ze snímačů na holeni, tedy tenzometr. Do impaktoru byla koupená nová kost, neboť nelze koupit a relevantně nahradit původní tenzometr aje zde předpoklad a zkušenost, že se po nějaké době začínají tenzometry z kosti odlupovat. Když se mění taková důležitá součást, je vhodné porovnání před a po výměně. Zde bylo navíc použito porovnání s externí laboratoří. Jako test, přes který se impaktor porovná byla zvolena inverzní certifikace, která je průběhem křivek podobná testu do automobilu (kyvadlová certifikace odpovídá méně).



Obr. 84 Porovnání snímačů stehna na inverzní certifikaci - původní kost x nová v externí laboratoři v Německu x nová v laboratoři AUREL CZ



Obr. 85 Porovnání snímačů kolena na inverzní certifikaci - původní kost x nová v externí laboratoři v Německu x nová v laboratoři AUREL CZ

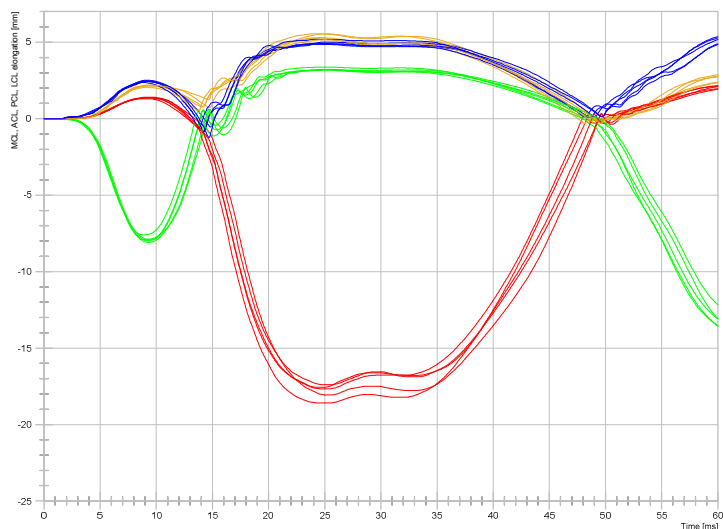


Obr. 86 Porovnání snímačů holeně na inverzní certifikaci - původní kost x nová v externí laboratoři v Německu x nová v laboratoři AUREL CZ

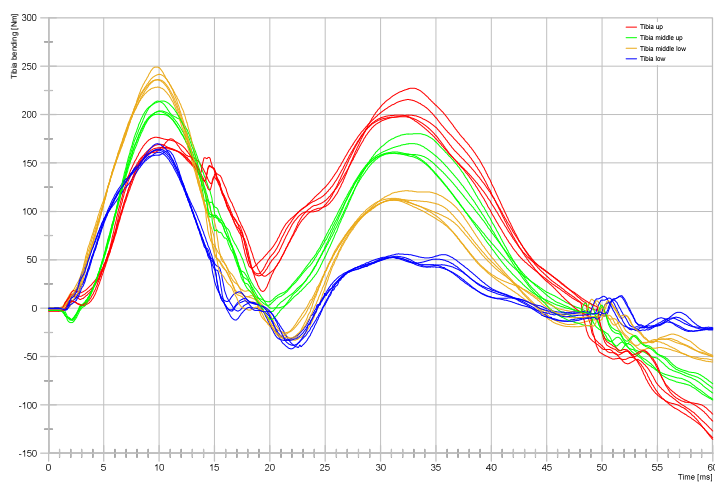
Z uvedených signálů všech snímačů je viditelná velmi dobrá shoda jak původní a nové tibie („kosti“), tak mezi laboratořemi. Tato shoda je akceptovatelná a součástka s novými snímači se může používat a lze předpokládat shodu i mezi testy do automobilu.

12.4. Ověření opakovatelnosti, resp. možného rozptylu měřených hodnot

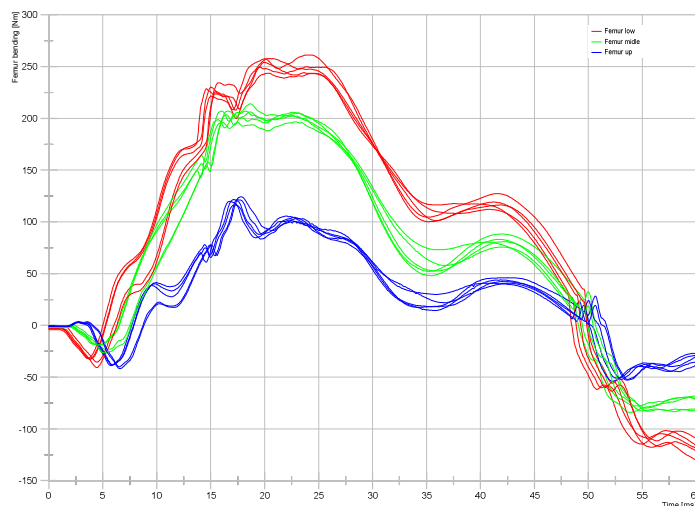
Možný rozptyl na zkouškách byl ověřen pomocí tzv. „generického frontendu“. Zkoumaný impaktor byl podroben pěti testům do zkušebního stavu, ocelové konstrukce s pěnovými členy. Touto smyčkou testů má být eliminován počet parametrů, které by mohly negativně ovlivnit opakovatelnost zkoušek. Snahou je tedy vrhat impaktor stejnou rychlostí, do stejného místa, svisle (resp. bez rotací okolo jakékoli osy impaktoru) do konstrukce, která má opakovatelné deformační vlastnosti. Tato konstrukce je v podstatě tuhý ocelový rám s bloky z EPP (extrudovaný polypropylen) rozmístěnými tak, aby napodobovaly přední část vozidla. Tyto bloky z EPP by měly být co nejvíce homogenní a tak jsou vyřezávány ze střední části monobloku tohoto materiálu. I tak je to samozřejmě jeden z parametrů testu, který může mít na výsledek nějaký vliv. Křivky níže naznačují dobrou opakovatelnost na všech testech na všech snímačích.



Obr. 87 Signály potenciometrů při testech do zkušební stolice, ACL (žlutě), PCL (zeleně), MCL (červeně), LCL (modře)



Obr. 88 Signály tenzometrů holeně při testech do zkušební stolice, TiUp (červeně), TiMiUp (zeleně), TiMiLo (žlutě), TiLo (modře)



Obr. 89 Signály tenzometrů stehna při testech do zkušební stolice, FeUp (červeně), FeMi (zeleně), FeLo (modře)

V tabulce jsou porovnány maxima signálů včetně doplnění normalizace na rychlost (40,3 km/h) (bude vysvětleno dále):

Tabulka 2 Maxima signálů z testů na opakovatelnost

Test č.	rychlost [m/s]	rychlost [km/h]	Originální hodnoty							Hodnoty po normalizaci na rychlost						
			Tibia Up	Tibia Mi Up	Tibia Mi Lo	Tibia Lo	ACL	PCL	MCL	Tibia Up	Tibia Mi Up	Tibia Mi L	Tibia Lo	ACL	PCL	MCL
1	11,14	40,10	197,6	204,8	236,9	165,6	5,3	4,8	17,6	198,6	205,8	238,1	166,4	5,3	4,8	17,7
2	11,19	40,28	225,1	211,7	247,1	161,4	5,6	4,9	18,1	225,2	211,8	247,2	161,5	5,6	4,9	18,1
3	11,14	40,10	198,7	203,3	236,1	163,8	5,4	4,8	17,7	199,7	204,3	237,3	164,6	5,4	4,8	17,8
4	11,18	40,25	214,4	201,4	229,1	161,0	5,6	5,2	18,6	214,7	201,7	229,4	161,2	5,6	5,2	18,6
5	11,09	39,92	199,3	214,0	241,2	169,0	5,2	4,7	17,4	201,2	216,0	243,5	170,6	5,2	4,7	17,6

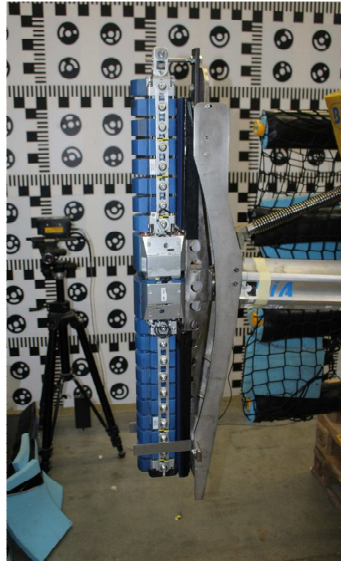
Z grafů i maxim lze usoudit na dobrou shodu mezi jednotlivými testy, tedy opakovatelnost.

13. Metodika

13.1. Příprava impaktoru na test

Impaktor musí být připraven podle návodu výrobce tak, aby zajistil přesné a opakovatelné měření v průběhu testu (viz. příprava pro dynamickou certifikaci). V oblastech, které návodem, případně předpisy, nejsou popsány je velmi vhodné si tuto metodiku rozšířit o snadno opakovatelné úkony kvůli opakovatelnosti výsledků.

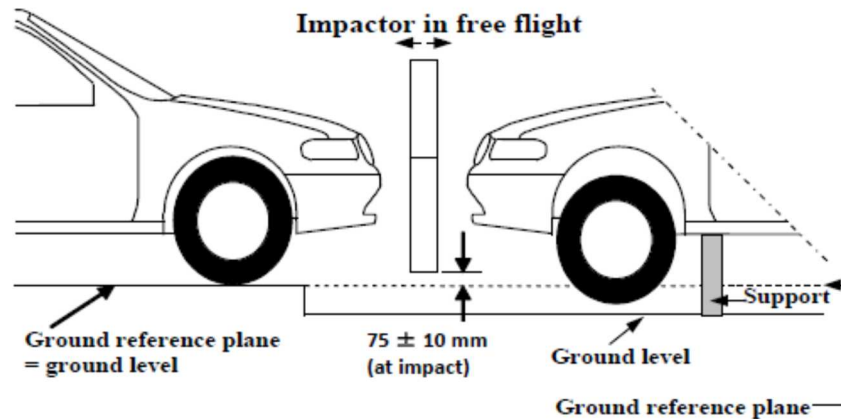
Když je impaktor takto sestaven a zkontrolován, zavěsí se na stroj, kterým bude vržen na zkoušený vzorek. Různé laboratoře používají různé vrhací stroje i různé koncové vrhače jako takové. Tento vrhač musí zajistit, aby impaktor během letu nekmital, nerotoval okolo žádné z os, aby impaktor dopadl na zkoušený vzorek přesně a správnou rychlostí a musí plnit i další požadavky. Jsou jimi např. nepoškození stroje při zrychlovací i zpomalovací fázi vrhání, nepoškození impaktoru ani při „rebound“ fázi apod.



Obr. 90 Vrháč s pověšeným impaktorem Flex PLI (zde pro názornost) bez neoprenové a gumové „svaloviny“

13.2. Ostatní příprava

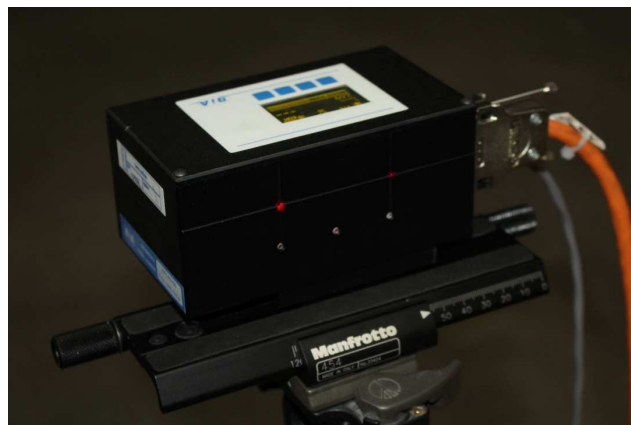
Kromě impaktoru, který je hlavním měřidlem zkoušky je potřeba udělat přípravu všeho ostatního. Samozřejmě musí být správně připraven zkoušený vzorek, ať už je to automobil s přesně danými díly nebo i jen zkušební stav o definovaných parametrech (rozměry, hmotnosti, materiál...). Pokud se jedná o automobil, musí být správně navážen, tedy být správně vysoko. Může se totiž stát, že je k dispozici např. stejný model, ale s jinou motorizací, výbavou, tedy je potřeba nastavit správnou vzdálenost vozidla i impaktoru od země. Stroj určený k vrhání impaktorů je většinou schopný výškového nastavení, takže je zde i možná kompenzace výškové polohy impaktoru. Ten má být před nárazem 75 mm nad „vozovkou“.



Obr. 91 Výška letu impaktoru nohy při testu do automobilu (vlevo) a vzorku přední části automobilu (vpravo) dle homologačního předpisu (16)

Impaktor musí být vržen svisle, rotace okolo jeho příčných os nesmí v čase dopadu přesáhnout 2° , (interní předpisy některých zkušeben či vývojových pracovišť udávají 1°), rotace okolo svislé osy nesmí přesáhnout 5° . V tomto se vrhání impaktoru nohy Flex PLI neliší od výše zmíněného impaktoru TRL LLEG.

Další náležitostí testu je správná rychlost před dopadem, což je $11,1 \pm 2$ m/s. Měření dopadové rychlosti není možné jen z akcelerometru na impaktoru. Předpisy vyžadují externí měření. Tímto externím měřidlem obvykle bývá tzv. laserová brána, ať už s jedním či se dvěma paprsky. Alternativou je i dynamická fotogrammetrie, ale je pracná, proto je považována spíše za rezervní, např. v případě výpadku laserové brány.



Obr. 92 Laserová brána, typ s dvěma diodami, určená pro zkoušky ochrany chodců

Přesnost zásahu impaktorem, ať už hlavy (AC35, AD45) či nohy (Flex PLI, TRL LLEG) lze zjišťovat více způsoby. Velmi používané je použití lepících terčů. Ten se nalepí na místo chtěného dopadu, na něj se obráceně, lepící stranou položí (nebo lehce nalepí nějakým gelem) další a strojem s impaktorem se přijede až k tomuto místu a terč se takto nalepí na impaktor. Odjede se do startovní pozice, odkud se těleso vrhne. Na dopadový terč se opět přesně položí (nebo lehce přilepí) terč lepící stranou ven. Když impaktor narazí do vzorku, je možné porovnat na impaktoru chtěnou a dosaženou polohu. Označována je jako přesnost zásahu (impact accuracy) a dle předpisu homologačních i ENCAP nesmí přesáhnout 10 mm v jakémkoli směru. Kvůli opakovatelnosti a přesnějšímu získávání informací je často požadováno spíše 5 mm.



Obr. 93 Terčůky na impaktoru použité pro zjištění přesnosti zásahu

Další možností zjištění přesnosti zásahu je barvení, tedy označení malými kapkami husté barvy. Ačkoli je tato metoda nepřesná a „špiní“, stále se ještě v některých zkušebnách používá.

Určování přesnosti zásahu ať už pomocí terčů nebo barvy s sebou nese riziko ovlivnění testu smýknutím impaktoru. Proto jsou terčůky i kapky barvy malé a úvaha je postavena spíše ve prospěch přesného zjištění místa dopadu (s minimální možností ovlivnění testu), před provedením testu bez znalosti přesnosti zásahu.

Impaktor, který je vržen na vzorek rychlostí 11,1 m/s (cca 40 km/h) a váží 13,5 kg, může být nejen nebezpečný pro obsluhu, ale může poškodit zařízení okolo i sám sebe. Proto je vhodné zkoušku přizpůsobit kvůli tomuto odražení od vzorku (tzv. reboundu) a okolí vzorku obložit pěnovkami a podobným materiálem. Vlastní impaktor lze mít připevněný k nějaké vnější konstrukci lanem, kurtou a podobně. Musí se ovšem dát pozor na možnost ovlivnění zkoušky. Často se používají automatická vrátka, klasicky s pantem či jako malé posuvné dveře. Chrání kontaktu impaktoru a vrhače, jsou bezprostředně za ním a jsou důležitá zejména na středních pozicích automobilu, v místech, kde se impaktor vrací k vrhači. Existují i sofistikovanější způsoby, jako je automatické strhávání impaktoru ihned po testu (jedním popruhem shora nebo zdola) nebo čtyřmi popruhy, dva shora, dva zdola, také

ihned po testu, takže impaktor zůstane viset „ve vzduchu“, jakoby lapen v pavoučí síti. Tyto systémy jsou ovšem velmi náročné na načasování a rozdíl v milisekundách či desítkách milisekund může znamenat buď ovlivnění testu nebo poškození impaktoru.

13.3. Vlastní test

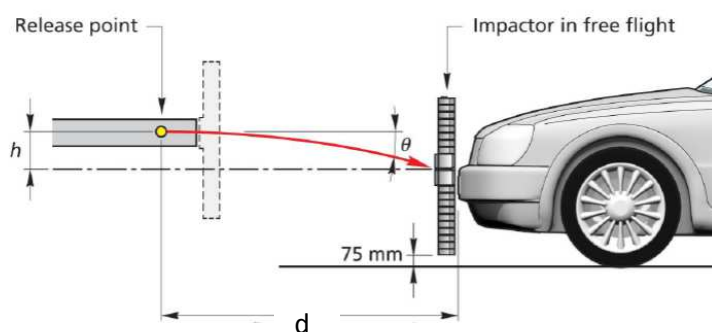
Vlastní test, při kterém se zkouší vozidlo z hlediska ochrany chodců se provádí s impaktorem, zkoušeným vozidlem, vrhačem a záznamovým zařízením, jenž byly alespoň po dobu 4 hodin v teplotě mezi 16 a 24 °C. Test se dá rozdělit do několika fází. Jsou to hlavně vrhnutí impaktoru, volný let, dopad a odraz (tzv. rebound).

13.3.1. Akcelerační fáze

První fází je tedy urychlení impaktoru. Když je zavěšen a nastaven ve stroji, který jej má vrhnout směrem k vozidlu, je pečlivě podepřen, aby vrhač během akcelerační fáze netlačil ani jen do těžiště impaktoru, ani jen do těžišť jednotlivých částí (stehno, koleno, holeň), ale po celé délce. Tím, že je totiž impaktor pružný, včetně stehenní a holenní části („kosti“), tak by mohl neúměrně kmitat. To je nežádoucí a předpisy (16) to ani pro správné provedení zkoušky nedovolují. Vrhač tedy před sebou tlačí impaktor, který na něm buď visí nebo byl pověšen na podpůrné konstrukci těsně před výstřelem a vrhač jej z této konstrukce strhl. Akcelerační fáze je velmi rychlá, pro Flex PLI je to okolo 75 ms, impaktor tak „nestihne“ z vrhače spadnout vlastní vahou. Vrhač, ať už je na jakémkoli urychlovacím zařízení se po nějaké době zastavuje a impaktor letí dál. Některé systémy (např. stroj BIA, hydraulický, se servoventily) mají zpětnovazební smyčku, kterou řídí koncovou rychlost impaktoru i zpomalovací fázi pístu s vrhačem. (36) Hydraulický válec vyjede velmi rychle ven, zpomaluje až k zastavení a pak se zase vrací relativně rychle zpět, aby na něj např. nedopadl odražený impaktor. Jiné, např. s lineárními elektromotory (např. stroje od firem Frontone) mají vrhač na vozíku, který je na lineárním vedení. Stroje s lineárními elektromotory dosahují velmi přesně požadované rychlosti, až na setiny km/h. (37) Lineární elektromotor před sebou tlačí vozík s vrhačem a impaktorem, pak se zastavuje motor, vozík i s impaktorem jede dál a na konci lineárního vedení vozík naráží do dorazů, obvykle hydraulických. Impaktor pak letí ke zkoušenému vzorku.

Impaktor se může vrhat dvěma způsoby, tzv. vodorovné střílení a vrhání po balistické křivce.

Vodorovné střílení probíhá podle následujícího schématu.



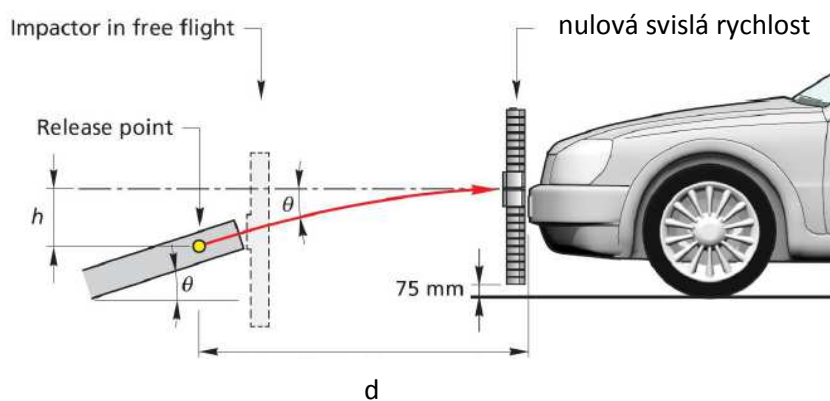
Obr. 94 Kompenzace klesání při vodorovném střelení (14)

Před střelením se změří délka volného letu (v obrázku ozn. d). Vzdálenost, o kterou impaktor klesne se poté vypočítá podle

$$h = \frac{g d^2}{2v^2} \quad \text{R. 5}$$

(Pokud uvažujeme gravitační zrychlení $g=9,81 \text{ m/s}^2$ a požadovanou rychlost výstřelu $v=11,1 \text{ m/s}$, potom je $h=0,03981 d^2$).

Pokud je vrhán impaktor po balistické křivce, je vrhán tak, aby i během letu byl co nejsvisleji, tak jak je naznačeno na následujícím schématu.



Obr. 95 Balistická korekce (14)

Stroj s vrhačem musí být oproti horizontálnímu střílení níž. Vzhledem k tomu, že je obvykle automobil stejně na nějaké transportní plošině, či vyvýšené konstrukci kvůli rozebírání, tak to nevádí.

Při vrhání impaktoru po balistické křivce lze volit mezi dvěma způsoby. Buď je pevně stanoven úhel výstřelu, nebo dráha letu impaktoru. V případě stanoveného úhlu ϕ a požadovaném úhlu dopadu $\theta=0^\circ$ při rychlosti $v=11,1$ m/s lze nalézt zbývající:

$$u = \frac{v}{\cos(\phi)} \quad \text{R. 6}$$

$$d = \frac{v^2}{g} \tan(\phi) \quad \text{R. 7}$$

$$h = \frac{v^2}{2g} (\tan(\phi))^2 \quad \text{R. 8}$$

Pokud je impaktor vrhán po balistické křivce druhým způsobem, je vzdálenost letu „d“ určena, úhel dopadu $\theta=0^\circ$, rychlost $v=11,1$ m/s, pak

$$u = v \left(1 + \frac{gd^2}{v^4}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{R. 9}$$

$$h = \frac{gd^2}{2v} \quad \text{R. 10}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{gd}{v^2}\right) \quad \text{R. 11}$$

Úhel vrhání impaktoru ϕ je nastaven tak, aby impaktor narážel do automobilu na vrcholu balistické křivky. Tedy rychlost ve svislém směru je nulová.

13.3.2. Fáze volného letu

Když impaktor opustí vrhač a letí na testovaný objekt, není ničím veden, tato fáze se nazývá fází volného letu („free flight phase“). Během této impaktor nesmí příliš kmitat (ohybové momenty nesmí přesáhnout ± 10 Nm během 30 ms před dopadem, (14)).

Jak bylo popsáno výše, na konci této fáze, tedy těsně před dopadem je měřena požadovaná rychlost v ($11,1 \pm 2$ m/s, tj. $39,96 \pm 0,72$ km/h) a impaktor by měl dopadnout do 10 mm od mířené pozice.

13.3.3. Náraz impaktoru

Při nárazu do automobilu se samozřejmě chová impaktor pokaždé trochu jinak. Podle toho, na jaké vozidlo dopadá, do jakého místa, resp. jaké struktury, jakou rychlostí apod., bude impaktor různě zatížen. Na straně impaktoru dochází hlavně k elastické deformaci (zejména vinuté pružiny a kosti holeně a stehna), ne jako tomu bylo u staršího impaktoru TRL LLEG, kde se trvale ohýbaly ocelové ligamenty a měnily se na každou zkoušku. Na straně vzorku se deformují jednotlivé díly elasticky i plasticky a vzniká relativně velký počet nevratných deformací. V některých případech je to jen změna tvaru, v některých jsou to i praskliny a trhliny. Podrobněji bude náraz impaktoru rozebrán v dalších kapitolách.



Obr. 96 Příklad deformace kapoty s naznačenými ohyby



Obr. 97 Příklad deformace pěnového paddingu

13.3.4. Odskok impaktoru („rebound“)

Po nárazu impaktoru do vozidla nastává fáze tzv. „reboundu“, tedy odražení. Na rovných předních plochách automobilů je to obvykle zpět k vrhači; na stranách, kde design ubíhá dozadu, dochází obvykle jak k odrazu, tak i k rotaci, případně sklouznutí po povrchu nárazníku. Ve fázi odskoku se naměřené hodnoty nepovažují za relevantní, důležitá je pouze fáze týkající se dopadu na vozidlo.

Odskok, resp. fáze, kdy se impaktor Flex PLI pohybuje vysokou rychlostí od vozidla se musí řešit i z pohledu bezpečnosti práce, poškození impaktoru či vrhače. Na různých zkušebnách i strojích je k tomuto přistupováno různě. Např. v bast (Bundesanstalt für Straßenwesen) je impaktor vrhán úzkou štěrbinou z ochranných desek a jednoduše se počítá, že se během nárazu alespoň malinko natočí a zpět na vrhač nepropadne. V laboratořích EDAG jsou přímo na strojích (od firmy Frontone) automaticky ovládané příčně posuvné desky, jakási dvířka, která se po průletu impaktoru přiblíží k sobě, aby opět zamezila zpětnému dopadu impaktoru na stroj a vrhač. Ve zkušebně Aurel CZ na stroji BIA jsou použita rovněž automaticky ovládaná vrátka. Aby plnila svůj účel, jsou relativně masivní, ale lze s nimi snadno manipulovat a v případě potřeby je použít i pro jiné testy (např. misuse, PDI).



Obr. 98 Automatická ochranná vrátka, zkušebna Aurel CZ, stroj BIA

13.4. Doprovodné činnosti zkoušky

13.4.1. Fotodokumentace, popis vzorku

Aby byl test důkladně zdokumentován, zaznamenává se nastavení vzorku jak písemně do souhrnné zprávy, tak se příprava testu i jeho výsledek fotí. Textový popis obvykle zahrnuje názvy jednotlivých použitých dílů včetně jejich označení vývojového stavu. Pokud se vzhledem např. k nedostatku prototypových dílů musí použít díl několikrát (obvykle daleko od již zkoušených pozic), musí to být také zaznamenáno. Fotografie jsou pořizovány před testem a po testu, pokud je to možné, tak z podobných úhlů pohledu. Usnadňuje to porovnávání vzorku bez deformace a s ní.

13.4.2. Vysokorychlostní video testu

Pro sledování chování impaktoru během zkoušky je vhodné použít vysokorychlostní kamery. Obvykle mají tyto kamery relativně malé rozlišení (640x1280, 1016x1016 apod.) kvůli velkému množství dat, která kamera zpracovává. Výhodou je ale popis děje po krátkých časových úsecích. Pro standartní záběr (odvislé od laboratoře), např. 1016 x 1016 pixelů je možné použít snímkovací frekvenci např. 2000 snímků za sekundu (velmi obvyklá je 1000 fps, „frame per second“). Samozřejmě čím větší frekvence je použita, tím snáze se hledá vliv chování impaktoru a vzorku na výsledné signály.

Videa, která byla zaznamenávána na v této práci zmiňované zkoušky byla natáčena kamerami IDT (Red Lake) N4S3, které jsou vybaveny vlastní pamětí, nezaznamenávají obraz přímo do počítače, ale uchovávají ho v sobě. Záznam při plném rozlišení těchto kamer 1016x1016 pixelů a snímkovací frekvenci 2000 fps obsahuje 700 snímků. Rozložení je obvykle 200 snímků (100 ms) před dopadem impaktoru a 500 po dopadu. Je možné frekvenci výrazně zvýšit (až např. na 100 000 fps), ale zmenší se tím záběr. Velikost kamer (přibližně 60 x 50 x 80 mm s malým objektivem) umožňuje jejich použití i na interní záběry, kdy se např. sleduje propad kapoty do motorového prostoru během zkoušek impaktorem dětské hlavy nebo borcení struktury světlometu při zkouškách impaktorem nohy.



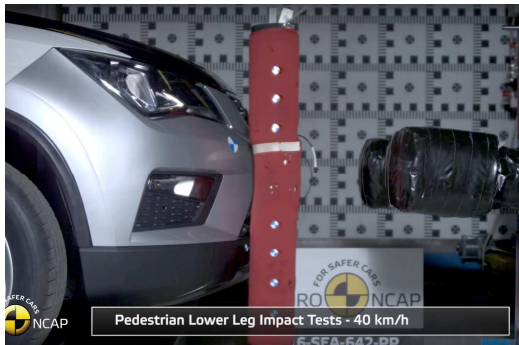
Obr. 99 Kamery použité pro sledování pohybu světlometu, měření 3D fotogrammetrií



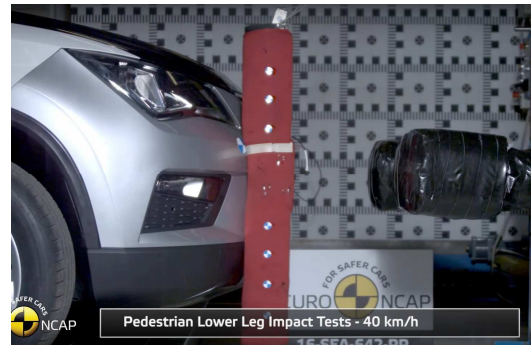
Obr. 100 Kamera IDT N4S3 s objektivem s malou ohniskovou vzdáleností vhodná na interní záběry

Když je potřeba, je možné za pomoci dvou a více těchto kamer provést záznam a následně 3D dynamickou fotogrammetrii a sledovat tak např. pohyb dílů v prostoru. Vyhodnocením může být např. poloha, rychlost či zrychlení v souřadném systému automobilu. Při záběru letícího impaktoru se může určovat jeho svislost a podobně.

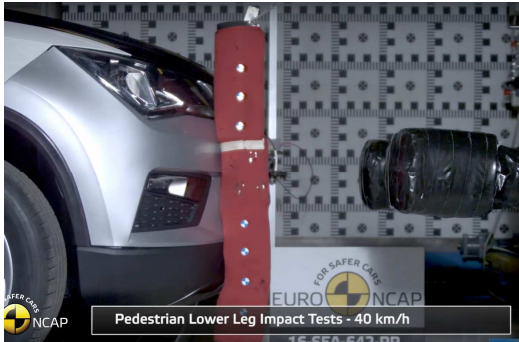
Na následujícím sledu fotografií je záznam z oficiálních testů dle metodiky EuroNCAP. Hodnoty naměřené v této práci jsou z reálných testů do vozidel, jejichž průmyslové a obchodní značky jsou z důvodu utajení nahrazeny jednoduchými označeními. Proto i na tomto sledu obrazů z vysokorychlostní kamery je použit veřejně dostupný materiál.



Impaktor přibližně 5 ms před dopadem.



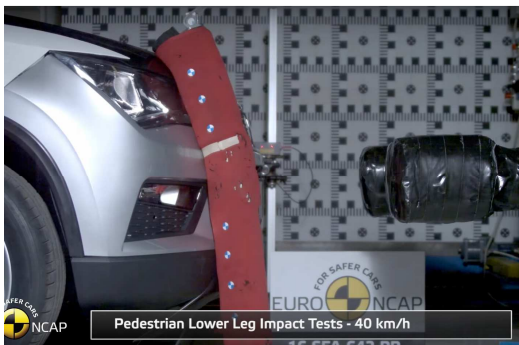
Dopad impaktoru, tzv. časová nula.



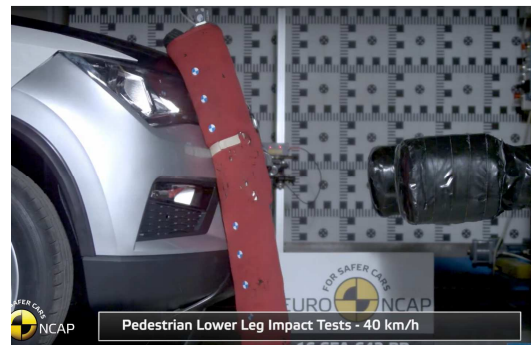
10 ms po dopadu



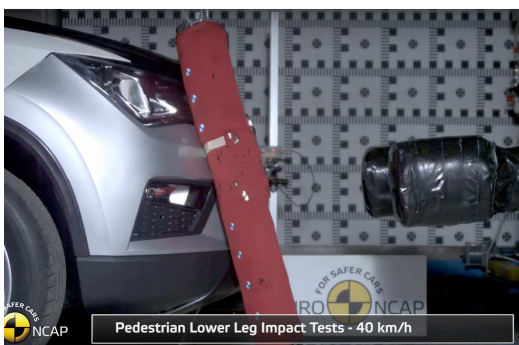
15 ms



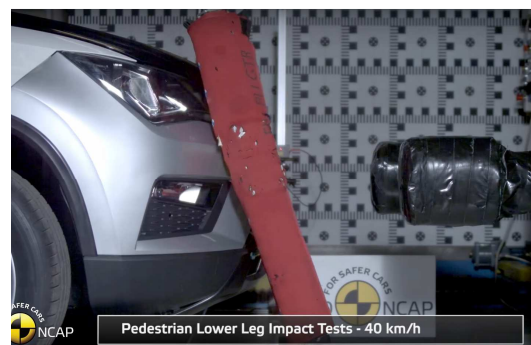
20 ms



25 ms



35 ms



45 ms

13.5. Formát dat

V praxi „crashových“ laboratoří se kvůli komunikaci používá standardizovaná forma dat. Je jím ISO MME (ISO/TS 13499) (Road vehicles – Multimedia data exchange format for impact tests). Tato forma udává jak strukturu složek souborů, tak formát těchto souborů. Každá smyčka zkoušek má svou složku dat, obsahuje v názvu označení typu impaktoru i unikátní číslo smyčky. Uvnitř složky smyčky je několik dalších složek. První, s označením 000 na konci je pro souhrnné informace, základní fotografie, apod. Další složky, s označením 001, 002, atd. odpovídají vždy jednotlivé zkoušce. V této každé složce jsou složky pro videa, fotografie, data ze snímačů v ASCII formátu. Každá data (i video a fotografie) obsahují v názvu číslo konkrétní zkoušky, tak, aby byla zkouška snadno dohledatelná.

Např.

XX1234 (model) - FG-XX1234-5_6789_F_FGS_AC35_01_23456 (smyčka zkoušek AC35)

- FG-XX1234-5_6789_F_FGS_FlexPLI_12_34567 (smyčka zkoušek Flex PLI)

- FG-XX1234-5_6789_F_FGS_FlexPLI_12_34567_000 (souhrnné)

- FG-XX1234-5_6789_F_FGS_FlexPLI_12_34567_001 (zkouška)

- Diagram (složka pro .zip dokumenty)

- Document (dokumenty např. v .xls formátu)

- Channel (složka s kanály v ASCII formátu)

12_34567_001.001 (měř. kanál se záhlavím a daty)

12_34567_001.002

12_34567_001.chn (soupis měřených kanálů)

- Movie (složka pro videodokumentaci)

- Photo (složka pro fotodokumentaci)

12_34567_001.mme (souhrn v ASCII formátu, „volání“ měř. kanálů)

14. Výzkumná část – různý přístup k výsledkům zkoušek

Jak již bylo vysvětleno, ochrana chodců, jako nechráněných účastníků silničního provozu je velmi důležitá. V dnešní době se tento zájem zformuloval mimo jiné do homologačních i spotřebitelských testů a jejich předpisů. Kromě reálných experimentů jsou samozřejmě prováděny FEM analýzy, které však stále ještě nedokáží plně nahradit zkoušku na vozidle. Tato práce se zabývá reálnými testy, jejich popisem a případnými možnostmi odhadu výsledku zkoušek přímo na jejich základě. Dále budou

popsány přístupy k testům i dalším okolnostem ochrany chodců, jak se řeší standardně a jak jinak je také možné na tuto oblast nahlížet.

14.1. Vyhodnocení výsledků testů

Hodnoty z jednotlivých snímačů představují zatížení nárazového tělesa v konkrétních místech a lze z nich přibližně usuzovat i na velikost poranění při možném reálném střetu. Tomu v podstatě odpovídá vyhodnocování výsledků testů, kdy je potřeba porovnat maximální hodnoty např. ohybu holeně s povolenou hodnotou z hlediska homologace. Pak je možné z hlediska ochrany chodců povolit provoz takového vozidla na pozemních komunikacích. Pokud jsou vyhodnoceny výsledky testů dle metodiky Euro NCAP, zjišťuje se, jaké bodové ohodnocení na konkrétní pozici automobil získal a jestli dosáhl požadované ochrany chodců, která se odráží i do celkového spotřebitelsky srozumitelného „hvězdičkového“ hodnocení.

14.2. Vyhodnocení testů z hlediska homologace

Aby mohlo vozidlo být povoleno k používání na pozemních komunikacích, musí splňovat dle předpisu ECE 127.02, který se věnuje ochraně chodců, pro zkoušky impaktorem nohy tyto podmínky:

„absolutní hodnota maximálního dynamického prodloužení vnitřního postranního vazy (medial collateral ligament MCL) v koleně nesmí přesáhnout 22 mm a maximální dynamické prodloužení předního křížového a zadního křížového vazy (anterior cruciate ligament ACL a posterior crucial ligament PCL) nesmí přesáhnout 13 mm. Absolutní hodnota dynamického ohybového momentu na holeni nesmí přesáhnout 340 Nm. Kromě toho může výrobce navrhnout oblast nárazníku širokou až 264 mm, v které absolutní dynamický ohyb holeně nesmí přesáhnout 380 Nm.“ (13)

14.3. Vyhodnocení testů z hlediska EuroNCAP

Dle hodnocení EuroNCAP, protokol 8.3 (14), se vyhodnotí výsledky testů impaktorem nohy takto:

Horní hodnotící limit

Ohybový moment holeně	282 Nm
MCL prodloužení	19 mm
ACL/PCL prodloužení	10 mm

Dolní hodnotící limit

Ohybový moment holeně	340 Nm
-----------------------	--------

MCL prodloužení	22 mm
ACL/PCL prodloužení	10 mm

Hodnocení body probíhá tak, že může být dosažen na jednom testu maximálně jeden bod. Ten je složen z poloviny výsledkem ohybového momentu holeně a z poloviny výsledkem z potenciometru z kolene. Pokud je hodnota ohybu menší než 282 Nm, pozice získává 0,5 bodu, pokud je více než 340 Nm, nezískává žádný. Hodnoty mezi limity se dle tohoto úměrně přepočítají na body. Pokud je prodloužení na potenciometru MCL menší než 19 mm a zároveň jsou ACL a PCL prodloužení do 10 mm, získává tato pozice maximální počet, tedy 0,5 bodu. Pokud je MCL nad 22 mm a ACL/PCL do 10 mm, výsledkem je 0 bodů. Stejně je tomu tak, pokud je ACL/PCL prodloužení nad 10 mm. Když je podmínka ACL/PCL do 10 mm splněna a MCL je mezi 19 a 22 mm, opět se úměrně přepočítá na body.

Test a jeho výsledek se obvykle zhodnotí z pohledu správnosti provedené zkoušky (rychlost a zásah v koridorech) a z pohledu dopadu na podmínky EHK a EuroNCAP. Podle toho se pak případně řeší opakované zkoušky pro potvrzení výsledku, potažmo možnosti změn v konstrukci.

Potud nejobvyklejší přístup, standardně se tedy hodnotí pouze jedno číslo, maximum signálu daného snímače (z Flex PLI je hodnocených 7 snímačů, jak bylo zmíněno). Je to logické, je důležité hlídat, jestli by např. v reálu byl již kolenní vaz přetržen či nikoliv. Navíc to i požaduje hodnotící předpis.

Ačkoli nejsou pro předpisy ostatní snímače zajímavé (LCL, Femur Up, Middle, Low), jsou zde uvedeny, pro celkovou představu. Zápis smyčky zkoušek může vypadat např. takto:

Tabulka 3 Souhrnný report smyčky testů s maximálními hodnotami na jednotlivých hodnocených snímačích, vzorek A, smyčka 16-21

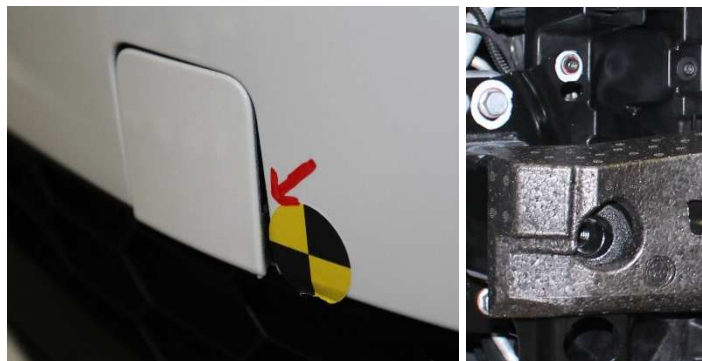
No.	Test no.	T. ID	Y vehicle coordinate	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femur up	Femur middle	Femur low
	yy_xxxx x_zzz		[mm]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab		Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
1	16_21_001	0R30	300	39,87	y+4/z-2	5,3	5,0	10,9	11,2	171	165	139	69	210	188	138
2	16_21_002	0R50	500	39,77	y-3/z-2	4,9	5,5	11,8	4,0	191	259	258	127	158	170	172
3	16_21_003	0R10	100	40,45	y-1/z+3	7,1	5,6	12,9	12,7	212	187	137	63	182	210	136
4	16_21_004	0R40	400	40,28	y-4/z-2	5,0	4,4	11,2	9,8	185	243	209	97	181	180	153
5	16_21_005	0R20	200	40,32	y-7/z+0	6,8	5,1	11,5	11,4	189	172	131	61	212	184	127
6	16_21_006	0L20	-200	40,33	y+3/z-1	6,1	5,0	10,9	11,2	188	166	125	60	199	189	123
7	16_21_007	0L30	-300	40,32	y-3/z-1	5,6	4,0	9,4	9,6	163	146	123	62	229	186	132
8	16_21_008	0L00	0	40,1	y+2/z-3	7,2	6,2	16,5	14,6	245	210	149	68	157	237	187
9	16_21_009	0L50	-500	40,02	y-3/z-3	4,8	4,9	11,7	3,5	163	212	199	91	160	176	171
10	16_21_010	0L10	-100	40,18	y-1/z-2	6,4	5,3	12,2	11,8	215	195	143	67	197	204	140
11	16_21_011	0L40	-400	40,28	y+5/z-2	4,4	3,8	10,4	9,4	188	223	189	88	178	171	140

Je vidět, že i maxima hodnocených veličin plní relativně snadno limity předpisů.

14.4. Analýzy výsledků

Pokud jsou, pro začátek, k dispozici pouze maxima jednotlivých signálů, mohl by být popsán vzorek podle pozice, bez závislosti na čase.

Již v této fázi je důležité si uvědomit možné asymetrie vozidla, případné další okolnosti testů, které by mohly zasahovat do popisu zkoušek. Takovou asymetrií při zkouškách impaktorem nohy je např. tažné oko, resp. příprava na něj. Na některých automobilech se projevuje, na některých nikoli. Může v místě konstrukce ztužovat i změkčovat. Týká se jak vnějšího krytu nárazníku, tak výztuhy a někdy i paddingu. V případě výše zmíněného příkladu smyčky 16-21 by příprava na tažné oko odpovídala pozici OR50, tedy 500 mm doprava od středu vozidla.



Obr. 101 Příprava pro tažné oko může mít teoreticky vliv na výsledek zkoušky

Testy mají různé pořadí, které někdy závisí na dostupnosti (např. prototypových) dílů, případně se prioritou přiřazuje podle nutnosti hledání vhodného konstrukčního řešení. Pro popis výsledků přes zkoušené pozice je vhodné si výsledky podle nich srovnat.

Tabulka 4 Srovnání výsledky na vzorku A, smyčka zkoušek 16_21, podle zkoušené pozice

No	Test no.	T. ID	Y vehi cle coordi nate	Impact velocity	Impact accurac y y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femu r up	Femur midl e	Femu r low
	YY_xxxx x_zzz		[mm]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab			Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
9	16_21_009	0L50	-500	40,02	y-3/z-3	4,8	4,9	11,7	3,5	163	212	199	91	160	176	171
11	16_21_011	0L40	-400	40,28	y+5/z-2	4,4	3,8	10,4	9,4	188	223	189	88	178	171	140
7	16_21_007	0L30	-300	40,32	y-3/z-1	5,6	4	9,4	9,6	163	146	123	62	229	186	132
6	16_21_006	0L20	-200	40,33	y+3/z-1	6,1	5	10,9	11,2	188	166	125	60	199	189	123
10	16_21_010	0L10	-100	40,18	y-1/z-2	6,4	5,3	12,2	11,8	215	195	143	67	197	204	140
8	16_21_008	0L00	0	40,1	y+2/z-3	7,2	6,2	16,5	14,6	245	210	149	68	157	237	187
3	16_21_003	0R10	100	40,45	y-1/z+3	7,1	5,6	12,9	12,7	212	187	137	63	182	210	136
5	16_21_005	0R20	200	40,32	y-7/z+0	6,8	5,1	11,5	11,4	189	172	131	61	212	184	127
1	16_21_001	0R30	300	39,87	y+4/z-2	5,3	5	10,9	11,2	171	165	139	69	210	188	138
4	16_21_004	0R40	400	40,28	y-4/z-2	5	4,4	11,2	9,8	185	243	209	97	181	180	153
2	16_21_002	0R50	500	39,77	y-3/z-2	4,9	5,5	11,8	4	191	259	258	127	158	170	172

Takto seřazené zkoušky dávají mnohem lepší přehled o výsledcích na pozicích od krajní testované pozice přes střed až po pozici na druhém konci testované oblasti.

14.4.1. Normalizace na rychlost

V této fázi práce s výsledky je důležité vyloučit či snížit vliv některých parametrů testu. Jak již bylo zmíněno výše, jedním ze zaznamenávaných parametrů je rychlost. Nominální je 39,96 km/h (11,1 m/s), s možným rozptylem $\pm 0,72$ km/h (2 m/s). Provedme zjednodušení a počítejme, že je v tomto rozptylu rychlosti závislost mezi rychlostí a výslednými hodnotami potenciometrů a tenzometrů lineární. Potom je možné

$$\text{Sens}_{NORM} = \frac{V_{NOMINAL}}{V_{TEST}} \cdot \text{Sens}_{TEST} \quad \text{R. 12}$$

Kde Sens_{NORM} představuje normalizovaný výsledek z každého jednotlivého snímače, $V_{NOMINAL}$ je chtěná rychlost, V_{TEST} je rychlost skutečná, naměřená na zkoušce a Sens_{TEST} je hodnota ze snímače, s kterou pracujeme, tedy obvykle hodnota maximální. Rychlost chtěná $V_{NOMINAL}$ je buď 39,96 km/h a nebo, pokud bychom chtěli mít větší jistotu hned na začátku, můžeme ji navýšit, např. na 40,3 km/h. Jak již bylo zmíněno výše, toto je jednoduchá metoda, používaná např. i u FEM výpočtů, je to tzv. „horší případ“. Tuto „normalizaci“ je možné udělat ještě před prací s výsledky, ale i po celkové analýze a predikci. Pokud porovnáme $V_{NOMINAL} = 40,3$ km/h s minimální a maximální akceptovatelnou hodnotou rychlosti testu, dostáváme hodnotu 1,02 km/h, resp. 0,38 km/h. Což naměřené hodnoty „znormalizuje“ tedy maximálně o 2,6%.

Pro smyčku 16-21 vychází tabulka hodnot po symetrizaci a normalizaci na rychlost takto:

Tabulka 5 Srovnání podle zkoušené pozice a na rychlost „znormalizované“ výsledky na vzorku A, smyčka zkoušek 16_21

No.	Test no.	T. ID	Y vehicle coordinate	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femur up	Femur middle	Femur low
	yy_xxxx x_zzz		[m m]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab		Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
9	16_21_009	OL50	-500	40,02	y-3/z-3	4,83	4,93	11,78	3,52	164,14	213,48	200,39	91,64	161,12	177,23	172,20
11	16_21_011	OL40	-400	40,28	y+5/z-2	4,40	3,80	10,41	9,40	188,09	223,11	189,09	88,04	178,09	171,08	140,07
7	16_21_007	OL30	-300	40,32	y-3/z-1	5,60	4,00	9,40	9,60	162,92	145,93	122,94	61,97	228,89	185,91	131,93
6	16_21_006	OL20	-200	40,33	y+3/z-1	6,10	5,00	10,89	11,19	187,86	165,88	124,91	59,96	198,85	188,86	122,91
10	16_21_010	OL10	-100	40,18	y-1/z-2	6,42	5,32	12,24	11,84	215,64	195,58	143,43	67,20	197,59	204,61	140,42
8	16_21_008	OL00	0	40,1	y+2/z-3	7,24	6,23	16,58	14,67	246,22	211,05	149,74	68,34	157,78	238,18	187,93
3	16_21_003	OR10	100	40,45	y-1/z+3	7,07	5,58	12,85	12,65	211,21	186,31	136,49	62,77	181,33	209,22	135,50
5	16_21_005	OR20	200	40,32	y-7/z+0	6,80	5,10	11,49	11,39	188,91	171,91	130,94	60,97	211,89	183,91	126,94
1	16_21_001	OR30	300	39,87	y+4/z-2	5,36	5,05	11,02	11,32	172,84	166,78	140,50	69,74	212,26	190,03	139,49
4	16_21_004	OR40	400	40,28	y-4/z-2	5,00	4,40	11,21	9,80	185,09	243,12	209,10	97,05	181,09	180,09	153,08
2	16_21_002	OR50	500	39,77	y-3/z-2	4,97	5,57	11,96	4,05	193,55	262,45	261,44	128,69	160,11	172,27	174,29

14.4.2. Vyznačení extrémů

Tabulky dosud byly zpracovány v programu MS Excel, pro ještě větší zpřehlednění situace může být použito podmíněné formátování buněk, kdy je v rámci jednoho snímače porovnávána hodnota přes zkoušenou zónu a je jí dle velikosti přiřazena barva. Nejmenší hodnota ze smyčky je zařazena do skupiny se zelenou barvou, největší s barvou červenou. Je to porovnání v rámci pouze této smyčky, této zkoušené šířky zóny, nedochází tedy k porovnání vůči nějaké vnější hodnotě, např. limitu ECE 127.02, EuroNCAP či třeba předchozímu vývojovému stavu.

V této fázi nejde totiž o plnění limitů např. homologace (v obrovské většině zkoušené vzorky tuto podmínku s přehledem plní), ale o popsání jevů, ke kterým během testů dochází.

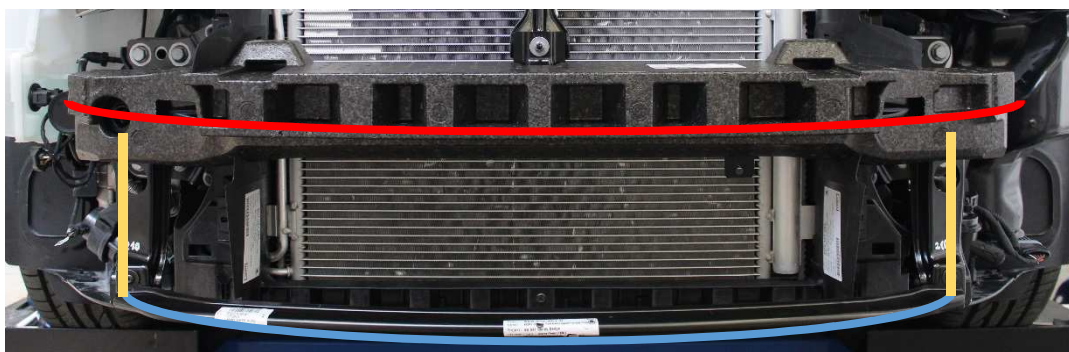
Po srovnání, normalizaci na rychlost a vyznačení maximálních a minimálních hodnot tedy výsledky vypadají takto:

Tabulka 6 Výsledky srovnané, „znormalizované“, barevně seřazené od minima po maximum, vzorek A, smyčka 16_21

No.	Test no.	T. ID	Y vehic le coor	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femur up	Femur middle	Femur low
	yy_xxxx x_zzz		[m m]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab		Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
9	16_21_009	OL50	-500	40,02	y-3/z-3	4,83	4,93	11,78	3,52	164,14	213,48	200,39	91,64	161,12	177,23	172,20
11	16_21_011	OL40	-400	40,28	y+5/z-2	4,40	3,80	10,41	9,40	188,09	223,11	189,09	88,04	178,09	171,08	140,07
7	16_21_007	OL30	-300	40,32	y-3/z-1	5,60	4,00	9,40	9,60	162,92	145,93	122,94	61,97	228,89	185,91	131,93
6	16_21_006	OL20	-200	40,33	y+3/z-1	6,10	5,00	10,89	11,19	187,86	165,88	124,91	59,96	198,85	188,86	122,91
10	16_21_010	OL10	-100	40,18	y-1/z-2	6,42	5,32	12,24	11,84	215,64	195,58	143,43	67,20	197,59	204,61	140,42
8	16_21_008	OL00	0	40,1	y+2/z-3	7,24	6,23	16,58	14,67	246,22	211,05	149,74	68,34	157,78	238,18	187,93
3	16_21_003	OR10	100	40,45	y-1/z+3	7,07	5,58	12,85	12,65	211,21	186,31	136,49	62,77	181,33	209,22	135,50
5	16_21_005	OR20	200	40,32	y-7/z+0	6,80	5,10	11,49	11,39	188,91	171,91	130,94	60,97	211,89	183,91	126,94
1	16_21_001	OR30	300	39,87	y+4/z-2	5,36	5,05	11,02	11,32	172,84	166,78	140,50	69,74	212,26	190,03	139,49
4	16_21_004	OR40	400	40,28	y-4/z-2	5,00	4,40	11,21	9,80	185,09	243,12	209,10	97,05	181,09	180,09	153,08
2	16_21_002	OR50	500	39,77	y-3/z-2	4,97	5,57	11,96	4,05	193,55	262,45	261,44	128,69	160,11	172,27	174,29

14.4.3. Rozbor

Na počátku je vhodné popsat vzorek typu A: vozidlo typu malé SUV, relativně vysoký kryt nárazníku, kapota přibližně v místě snímače FemMi, ocelová výztuha se svislými nosníky, na nich uchycena spodní opěrná rovina tvořena ocelovým profilem vycházející na impaktoru mezi snímače TiMiUp a TiMiLo. Použit padding z EPP. Na této smyčce (16_21) byly provedeny všechny testy přes celou šířku zóny (popsané v sekci rozměrování vozidla). Z tabulky je velmi pěkně vidět symetrie výsledků, ale i přibližný průběh děje. Je zde patrný velký vliv pozice OL00, tedy uprostřed automobilu. Je to dáno konstrukcí odlišnou od např. pozice OL10 nebo OR20. Na většině nyní vyráběných automobilů je v této části znak, ať už na kapotě nebo v krytu nárazníku. Pod tímto krytem může být ukryt „radar“ pro adaptivní tempomat a podobně. Na druhé straně zóny, na krajích, může docházet k vlivu tvaru nárazníku, tedy impaktor se může začít při nárazu otáčet, někdy také sklouznout. Kraj zóny také obvykle znamená zmenšení vzdálenosti mezi vnějším krytem nárazníku a pevnou ocelovou výztuhou. Na některých vozidlech je u kraje této výztuhy nosník svisle dolů, na kterém může (a nemusí) být ještě i ocelová příčná výztuha dolní části nárazníku. Ta podpírá spoilerovou část nárazníku. Tyto tuhé svislé nosníky byly i na zkoušeném vzorku A, jejich ztužující vliv je patrný i na výsledcích ze snímačů na holeni. Ve střední části automobilu nad tímto vlivem převážil vliv výztuhy nárazníku i to, že spodní (spoilerová) výztuha je uprostřed automobilu namáhána na nejdelší páce.



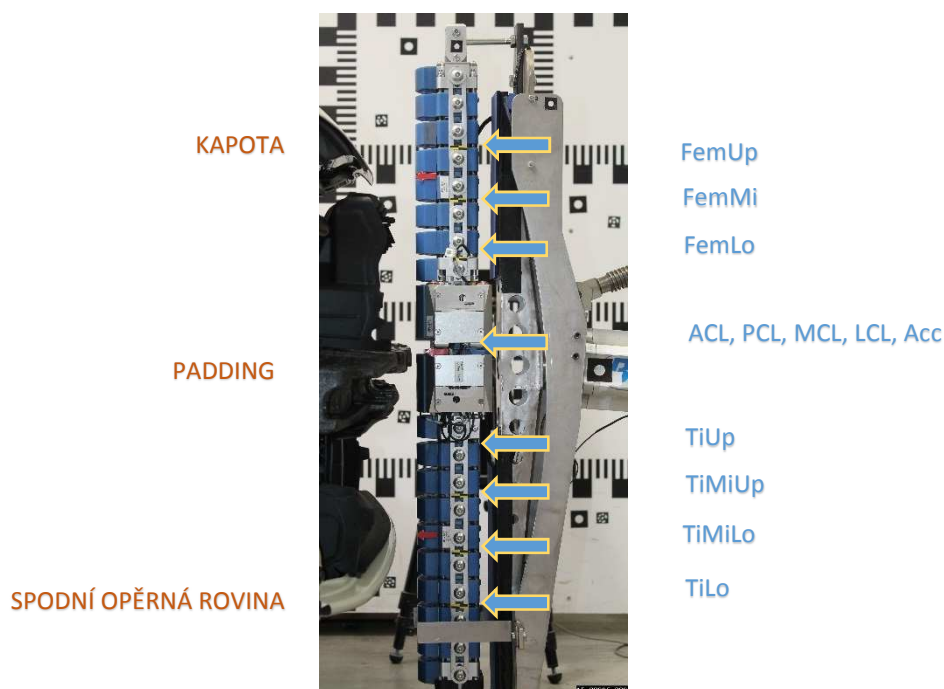
Obr. 102 Příklad vozidla s paddingem na výztuze nárazníku, svislými nosníky a ocelovou spodní opěrnou rovinou

Tabulka 7 Výrazný vliv nulové pozice, naznačené ohýbání holeně, vzorek A, smyčka 16_21

No.	Test no.	T. ID	Y vehicle coor	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femur up	Femur middle	Femur low
	yy_xxxx x_zzz		[m m]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab		Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
9	16_21_009	0L50	-500	40,02	y-3/z-3	4,83	4,93	11,78	3,52	164,14	213,48	200,39	91,64	161,12	177,23	172,20
11	16_21_011	0L40	-400	40,28	y+5/z-2	4,40	3,80	10,41	9,40	188,09	223,11	189,09	88,04	178,09	171,08	140,07
7	16_21_007	0L30	-300	40,32	y-3/z-1	5,60	4,00	9,40	9,60	162,92	145,93	122,94	61,97	228,89	185,91	131,93
6	16_21_006	0L20	-200	40,33	y+3/z-1	6,10	5,00	10,89	11,19	187,86	165,88	124,91	59,96	198,85	188,86	122,91
10	16_21_010	0L10	-100	40,18	y-1/z-2	6,42	5,32	12,24	11,84	215,64	195,58	143,43	67,20	197,59	204,61	140,42
8	16_21_008	0L00	0	40,1	y+2/z-3	7,24	6,23	16,58	14,67	246,22	211,05	149,74	68,34	157,78	238,18	187,93
3	16_21_003	0R10	100	40,45	y-1/z+3	7,07	5,58	12,85	12,65	211,21	186,31	136,49	62,77	181,33	209,22	135,50
5	16_21_005	0R20	200	40,32	y-7/z+0	6,80	5,10	11,49	11,39	188,91	171,91	130,94	60,97	211,89	183,91	126,94
1	16_21_001	0R30	300	39,87	y+4/z-2	5,36	5,05	11,02	11,32	172,84	166,78	140,50	69,74	212,26	190,03	139,49
4	16_21_004	0R40	400	40,28	y-4/z-2	5,00	4,40	11,21	9,80	185,09	243,12	209,10	97,05	181,09	180,09	153,08
2	16_21_002	0R50	500	39,77	y-3/z-2	4,97	5,57	11,96	4,05	193,55	262,45	261,44	128,69	160,11	172,27	174,29

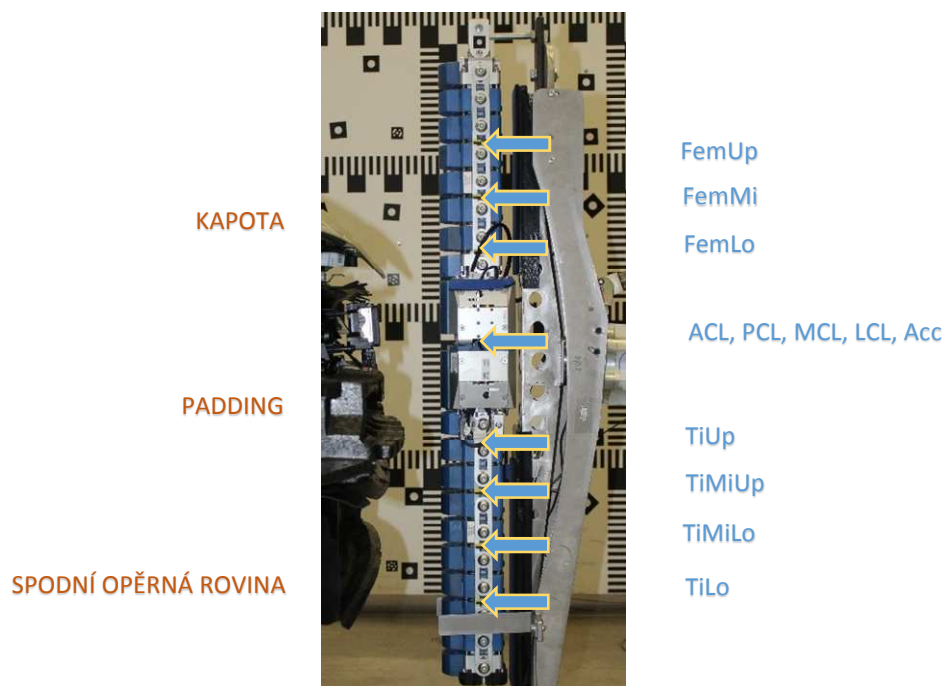
Na holeni, která je tvořena zejména pružnou kostí se snímači ohybu se z výsledků zdá, že je největší ohybový moment na konkrétní pozici vždy jen na jednom místě kosti. A toto největší prohnutí se přes pozice „pohybuje“ od středu ke krajům. O něco větší hodnoty vychází na pravé straně automobilu, lze usuzovat zejména na vliv přípravy pro šroubovatelné tažné oko.

Zkusme se ale podívat na holeň jako na jednu část, ne jen jako na čtyři oddělené snímače. K tomu může posloužit i zjištění vzájemné polohy významných částí vozidla a snímačů na impactoru.



Obr. 103 Vzájemná poloha výrazných částí konstrukce vozidla s tuhou ocelovou spodní opěrnou rovinou a snímačů na impactoru, modelově odpovídající vzorku A a A´

Pozn. Na dalších kapitolách bude vysvětleno i chování impactoru na typově jiném konceptu nárazníku. Pro porovnání je ale vhodné poukázat na rozložení snímačů vůči automobilu již zde. Tento koncept reprezentuje vzorek B.



Obr. 104 Vzájemná poloha výrazných částí konstrukce vozidla s měkčí spodní opěrnou rovinou a snímačů na impactoru, modelově odpovídající vzorku B

Když se totiž porovnají hodnoty z holeně ne přes pozice, ale přes jednotlivé tenzometry na kosti, snáze se objeví maximum ohybu kosti v dané pozici. Opět je vidět zjednodušená symetrie výsledků, podobně pro stehenní kost (s výjimkou zkoušky na krajní pozici s velmi malým rozdílem sousedních snímačů).

Tabulka 8 Porovnání hodnot tenzometrů na jednotlivých zkoušených pozicích, vzorek A, smyčka 16_21

No.	Test no.	T. ID	Y vehicle coordinate	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femur up	Femur middle	Femur low
	yy_xxxx x_zzz		[m m]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab		Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
9	16_21_009	OL50	-500	40,02	y-3/z-3	4,83	4,93	11,78	3,52	164,14	213,48	200,39	91,64	161,12	177,23	172,20
11	16_21_011	OL40	-400	40,28	y+5/z-2	4,40	3,80	10,41	9,40	188,09	223,11	189,09	88,04	178,09	171,08	140,07
7	16_21_007	OL30	-300	40,32	y-3/z-1	5,60	4,00	9,40	9,60	162,92	145,93	122,94	61,97	228,89	185,91	131,93
6	16_21_006	OL20	-200	40,33	y+3/z-1	6,10	5,00	10,89	11,19	187,86	165,88	124,91	59,96	198,85	188,86	122,91
10	16_21_010	OL10	-100	40,18	y-1/z-2	6,42	5,32	12,24	11,84	215,64	195,58	143,43	67,20	197,59	204,61	140,42
8	16_21_008	OL00	0	40,1	y+2/z-3	7,24	6,23	16,58	14,67	246,22	211,05	149,74	68,34	157,78	238,18	187,93
3	16_21_003	OR10	100	40,45	y-1/z+3	7,07	5,58	12,85	12,65	211,21	186,31	136,49	62,77	181,33	209,22	135,50
5	16_21_005	OR20	200	40,32	y-7/z+0	6,80	5,10	11,49	11,39	188,91	171,91	130,94	60,97	211,89	183,91	126,94
1	16_21_001	OR30	300	39,87	y+4/z-2	5,36	5,05	11,02	11,32	172,84	166,78	140,50	69,74	212,26	190,03	139,49
4	16_21_004	OR40	400	40,28	y-4/z-2	5,00	4,40	11,21	9,80	185,09	243,12	209,10	97,05	181,09	180,09	153,08
2	16_21_002	OR50	500	39,77	y-3/z-2	4,97	5,57	11,96	4,05	193,55	262,45	261,44	128,69	160,11	172,27	174,29

Podobně symetricky při porovnání přes pozice vychází typově stejný vzorek automobilu s jinou výbavou nárazníku (parkovací senzory, mlhová světla, ostřikovače světlometů...) a světlou výškou. Zde byl proveden test navíc na pozici OL00, pro ověření.

Tabulka 9 Podobně výrazný vliv nulové pozice a krajů zóny, vzorek A', (jiná výbava i ustavení vůči 16_21), smyčka 17_79

No.	Test no.	T. ID	Y vehicle coordinate	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femur up	Femur middle	Femur low
	yy_xxxx x_zzz		[m m]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab		Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
6	17_79_006	OL50	-500	40,12	y+2/z+0	5,02	4,22	10,95	4,02	145,65	186,83	179,80	86,39	166,74	178,80	154,69
10	17_79_010	OL40	-400	40,17	y+3/z-3	5,02	4,01	11,94	8,83	183,59	219,71	199,64	101,33	171,55	180,58	151,49
12	17_79_012	OL30	-300	39,99	y-3/z-3	5,04	4,33	10,08	9,98	160,23	179,38	168,29	86,67	204,57	183,41	139,07
8	17_79_008	OL20	-200	39,93	y+1/z-2	5,75	5,15	11,61	11,61	170,57	161,48	145,33	69,64	186,71	163,50	131,20
7	17_79_007	OL10	-100	40,07	y+3/z+0	6,44	5,63	13,18	12,57	181,03	155,89	130,75	66,38	201,15	211,21	133,76
9	17_79_009	OL00	0	40,12	y+2/z+1	6,63	5,52	13,96	12,86	192,86	169,76	128,57	60,27	183,82	254,14	160,72
11	17_79_011	OL00	0	40,12	y+5/z-4	6,63	5,52	13,76	12,86	195,87	171,77	126,57	58,26	177,79	238,06	152,68
1	17_79_001	OR10	100	40,07	y+5/z-6	6,24	5,13	12,17	11,36	183,04	160,92	128,73	65,37	190,08	196,12	128,73
2	17_79_002	OR20	200	40,1	y+0/z-3	5,43	4,82	10,95	10,85	175,87	166,83	148,74	69,34	183,91	148,74	129,64
3	17_79_003	OR30	300	40,08	y+0/z-2	5,33	4,52	10,66	10,16	177,97	180,99	162,89	83,46	181,99	160,88	129,71
4	17_79_004	OR40	400	40,3	y-5/z-2	4,70	3,50	11,00	7,70	186,00	230,00	206,00	101,00	170,00	159,00	132,00
5	17_79_005	OR50	500	40,28	y-5/z+0	4,50	5,40	12,21	3,80	174,09	215,11	190,09	92,05	166,08	172,09	146,07

Znovu se ukazuje, že i nejvyšší hodnoty v červeném poli s rezervou plní limit předpisů. (Pozn.: ECE 127.02: ACL/PCL- 13 mm, MCL- 22 mm, holeň- 340Nm, EuroNCAP nejnižší limit pro získání plného počtu bodů: ACL/PCL- 10 mm, MCL- 19 mm, holeň- 282 Nm)

Při porovnání maximálních hodnot přes délku kostí je opět viditelná relativně výrazná symetrie, byť s vlivem kraje zóny.

Tabulka 10 Porovnání hodnot tenzometrů na jednotlivých zkoušených pozicích, vzorek A', smyčka 17_79

No.	Test no.	T. ID	Y vehicle coordinate	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femur up	Femur middle	Femur low
	yy_xxxx x_zzz		[m m]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab			Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
6	17_79_006	0L50	-500	40,12	y+2/z+0	5,02	4,22	10,95	4,02	145,65	186,83	179,80	86,39	166,74	178,80	154,69
10	17_79_010	0L40	-400	40,17	y+3/z-3	5,02	4,01	11,94	8,83	183,59	219,71	199,64	101,33	171,55	180,58	151,49
12	17_79_012	0L30	-300	39,99	y-3/z-3	5,04	4,33	10,08	9,98	160,23	179,38	168,29	86,67	204,57	183,41	139,07
8	17_79_008	0L20	-200	39,93	y+1/z-2	5,75	5,15	11,61	11,61	170,57	161,48	145,33	69,64	186,71	163,50	131,20
7	17_79_007	0L10	-100	40,07	y+3/z+0	6,44	5,63	13,18	12,57	181,03	155,89	130,75	66,38	201,15	211,21	133,76
9	17_79_009	0L00	0	40,12	y+2/z+1	6,63	5,52	13,96	12,86	192,86	169,76	128,57	60,27	183,82	254,14	160,72
11	17_79_011	0L00	0	40,12	y+5/z-4	6,63	5,52	13,76	12,86	195,87	171,77	126,57	58,26	177,79	238,06	152,68
1	17_79_001	0R10	100	40,07	y+5/z-6	6,24	5,13	12,17	11,36	183,04	160,92	128,73	65,37	190,08	196,12	128,73
2	17_79_002	0R20	200	40,1	y+0/z-3	5,43	4,82	10,95	10,85	175,87	166,83	148,74	69,34	183,91	148,74	129,64
3	17_79_003	0R30	300	40,08	y+0/z-2	5,33	4,52	10,66	10,16	177,97	180,99	162,89	83,46	181,99	160,88	129,71
4	17_79_004	0R40	400	40,3	y-5/z-2	4,70	3,50	11,00	7,70	186,00	230,00	206,00	101,00	170,00	159,00	132,00
5	17_79_005	0R50	500	40,28	y-5/z+0	4,50	5,40	12,21	3,80	174,09	215,11	190,09	92,05	166,08	172,09	146,07

Testována byla ovšem i jiná koncepce přední části vozidla. Vzorek typu B: vozidlo typu limuzína, nižší kryt nárazníku, kapota přibližně v místě snímače FemLo, ocelová výztuha bez svislých nosníků, spodní opěrná rovina z plastu vycházející na impaktoru mezi snímače TiMiLo a TiLo. Použit byl padding z EPP. Byl zde výraznější prvek (radar adaptivního tempomatu) ve střední části, šířka zóny stejná.

Kvůli potvrzení výsledku byly provedeny testy na obou krajích dvakrát.

Tabulka 11 Jiný koncept v přední části vozu se odráží na rozložení výsledků testů, vzorek B, smyčka 14_32

No.	Test no.	T. ID	Y vehicle coordinate	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femur up	Femur middle	Femur low
	yy_xxxx x_zzz		[mm]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab			Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
2	14_32_002	L50	-500	40,69	y1,5/z-3	5,45	7,33	17,33	3,17	157,58	115,78	96,66	81,91	242,06	182,14	95,28
3	14_32_003	L50	-500	40,44	y-2/z0,5	5,28	7,67	16,24	4,09	156,76	122,97	122,37	99,06	256,61	204,59	108,42
4	14_32_004	L40	-400	40,52	y-3/z-1	5,37	7,16	16,01	4,77	178,33	156,15	149,29	124,22	273,61	211,45	120,44
5	14_32_005	L30	-300	40,48	y1/z0	4,78	5,18	16,33	5,28	187,26	190,75	177,21	145,25	280,35	244,81	127,53
6	14_32_006	L20	-200	40,54	y5/z-1	4,97	5,17	16,80	4,77	188,68	200,51	189,67	148,81	275,76	237,09	126,65
7	14_32_007	L10	-100	40,49	y-8/z0	4,78	4,48	15,92	4,88	167,71	162,33	168,70	152,28	260,57	209,11	108,29
8	14_32_008	L00	0	40,15	y-7/z0	5,82	5,42	19,37	2,91	196,63	164,91	177,86	156,28	305,34	247,32	128,68
9	14_32_009	R10	100	40,4	y-11/z0,5	4,69	5,09	15,96	4,79	160,50	165,89	173,57	161,10	249,88	200,50	103,74
1	14_32_001	R20	200	40,59	y-0,5/z-2	4,57	5,16	15,49	4,77	180,90	189,34	184,97	153,59	263,50	223,49	117,65
10	14_32_010	R30	300	40,27	y-4,5/z-2	4,80	6,30	16,51	5,10	185,24	195,65	175,93	156,92	286,81	255,19	136,50
11	14_32_011	R40	400	40,54	y1/z-1	5,37	9,74	17,69	4,27	188,97	164,92	148,42	147,32	268,20	212,34	117,70
12	14_32_012	R50	500	40,54	y-3/z-1,5	5,17	9,44	15,51	4,67	151,50	120,38	111,14	95,53	238,58	185,10	109,05
13	14_32_013	R50	500	40,09	y9/z-5	5,23	9,35	15,98	5,13	156,92	125,86	127,77	103,74	235,13	184,46	111,78

Vezměme v potaz, že výsledky vyhovují limitům daným předpisy. Po srovnání zkoušek přes pozice, normalizaci na rychlost a zvýraznění maximálních a minimálních hodnot přes pozice barvou je vidět, že se impaktor na tomto vzorku chová jinak. Opět je viditelný významný vliv nulové pozice, kde je otevírání kapoty, radar adaptivního tempomatu apod. Naopak na krajích zóny chybí ocelové svíslé nosníky a impaktor deformuje jen vnější kryt nárazníku, případně vedení vzduchu na chladiče, případně chladičovou stěnu. Holeň se tedy nejvíce ohne u kolene na střední pozici. Pokud se ale zaměříme na zbylá testovaná místa, největší ohyb je u kolene na TiUp na krajích a když se přiblížíme ke středu, nejvíce se ohýbá kost níže a níže.

V případě, že porovnáme hodnoty tenzometrů mezi sebou na jednotlivých pozicích (testech), vypadá to takto:

Tabulka 12 Porovnání tenzometrů na jednotlivých pozicích, vzorek B, smyčka 14_32, vyznačen možný vliv nepřesnosti zásahu

No.	Test no.	T. ID	Y vehicle coordinate	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti	Tui	Ti	Ti	Femur up	Femur middle	Femur low
			[mm]							Up	Mi	Mi	Lo			
	yy_xxxx x_zzz		[mm]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab		Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
2	14_32_002	L50	-500	40,69	y1,5/z-3	5,45	7,33	17,33	3,17	157,58	115,78	96,66	81,91	242,06	182,14	95,28
3	14_32_003	L50	-500	40,44	y-2/z0,5	5,28	7,67	16,24	4,09	156,76	122,97	122,37	99,06	256,61	204,59	108,42
4	14_32_004	L40	-400	40,52	y-3/z-1	5,37	7,16	16,01	4,77	178,33	156,15	149,29	124,22	273,61	211,45	120,44
5	14_32_005	L30	-300	40,48	y1/z0	4,78	5,18	16,33	5,28	187,26	190,75	177,21	145,25	280,35	244,81	127,53
6	14_32_006	L20	-200	40,54	y5/z-1	4,97	5,17	16,80	4,77	188,68	200,51	189,67	148,81	275,76	237,09	126,65
7	14_32_007	L10	-100	40,49	y-8/z0	4,78	4,48	15,92	4,88	167,71	162,33	168,70	152,28	260,57	209,11	108,29
8	14_32_008	L00	0	40,15	y-7/z0	5,82	5,42	19,37	2,91	196,63	164,91	177,86	156,28	305,34	247,32	128,68
9	14_32_009	R10	100	40,4	y-11/z0,5	4,69	5,09	15,96	4,79	160,50	165,89	173,57	161,10	249,88	200,50	103,74
1	14_32_001	R20	200	40,59	y-0,5/z-2	4,57	5,16	15,49	4,77	180,90	189,34	184,97	153,59	263,50	223,49	117,65
10	14_32_010	R30	300	40,27	y-4,5/z-2	4,80	6,30	16,51	5,10	185,24	195,65	175,93	156,92	286,81	255,19	136,50
11	14_32_011	R40	400	40,54	y1/z-1	5,37	9,74	17,69	4,27	188,97	164,92	148,42	147,32	268,20	212,34	117,70
12	14_32_012	R50	500	40,54	y-3/z-1,5	5,17	9,44	15,51	4,67	151,50	120,38	111,14	95,53	238,58	185,10	109,05
13	14_32_013	R50	500	40,09	y9/z-5	5,23	9,35	15,98	5,13	156,92	125,86	127,77	103,74	235,13	184,46	111,78

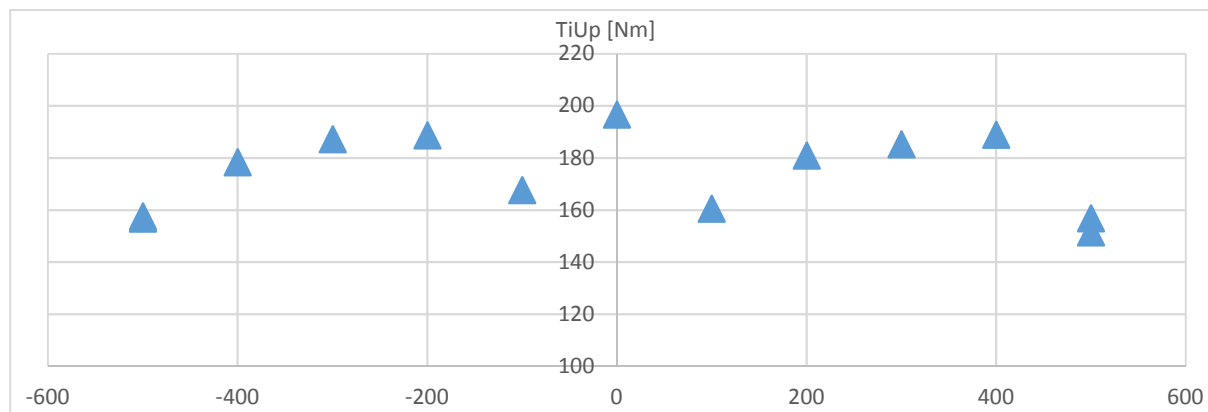
Asymetrie hodnot okolo nulové pozice (-100 a +100) je zřejmě způsobena nepřesností zásahu na obou zkouškách. Jelikož se přesnost zásahu určuje v rámci souřadného systému vozidla, na zkoušce 007 byl zásah y-8 (impaktor dopadl 8 mm doleva od chtěné pozice -100, z pohledu řidiče), na zkoušce 009 byl zásah y-11 (impaktor dopadl 11 mm – přes limit, doleva od chtěné pozice +100, z pohledu řidiče). Tím se stalo, že byl na jedné straně zásah na pozici -108 mm od středu vozidla, na druhé straně +89 mm. Tato nesymetrie 19 mm mohla na střední pozici způsobit rozdíl výsledků. Přesto jsou hodnoty tak podobné, že zjevně nemá cenu opakovat zkoušku.

Již při pohledu na tvar dnes běžně produkovaných automobilů lze říci, že je většina vnějších konstrukcí (kapota, kryt nárazníku) symetrická a je možné předpokládat rozdělení nárazové zóny výsledkově na několik částí. Jsou to zejména středové pozice, kraje zóny a relativně výsledkově „homogenní“ část mezi těmito dvěma místy. V této výsledkově homogenní“ části by mohly výsledky přibližně kopírovat konstrukci vzorku bez výrazných nestabilit (proklouznutí, rotace impaktoru).

Když budeme brát v úvahu možný vliv různých parametrů, které do zkoušky vstupují, jako je např. přesnost zásahu, rozdílný materiál prototypových dílů, spasování dílů apod., je nutné si uvědomit i možný rozptyl na výsledcích testů. Tento vliv můžeme do tabulky maxim vložit pomocí „symetrizace“ proběhlých zkoušek. Tedy přidání zkoušek z levé strany na pravou a naopak. Tím bude zřetelnější, jakých hodnot na konkrétní pozici může snímač nabývat. Nemá ovšem smysl kopírovat zkoušky

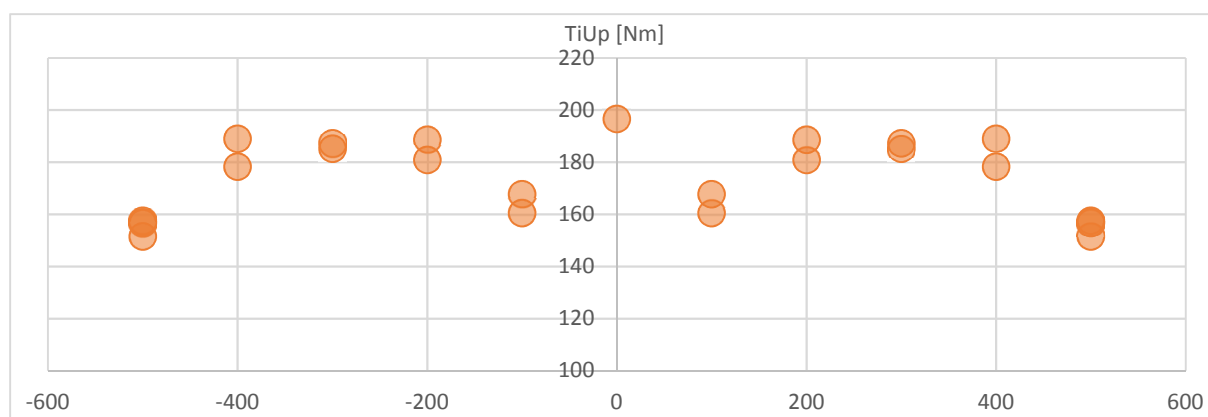
s výrazně asymetrickým potenciálem (výrazná příprava na tažné oko, nesymetrické otevírání kapoty apod.). Zápis ze smyčky testů může vypadat např. jako tabulka v příloze.

V podstatě se tím z jednoho výsledku na konkrétní pozici stanou dva. Když bychom vynesli hodnoty z tabulky do grafu, opět co nejsrozumitelněji, mohlo by to bez symetrizace vypadat například takto:



Graf 1 Maximální hodnoty bez symetrizace, snímač TiUp přes šířku zóny, vzorek B, smyčka 14_32, pozn.: graf s obráceným pořadím pozic, vlevo kladné, vpravo záporné, který kvůli lepší představitivosti odpovídá pohledu zředu na automobil, je v příloze

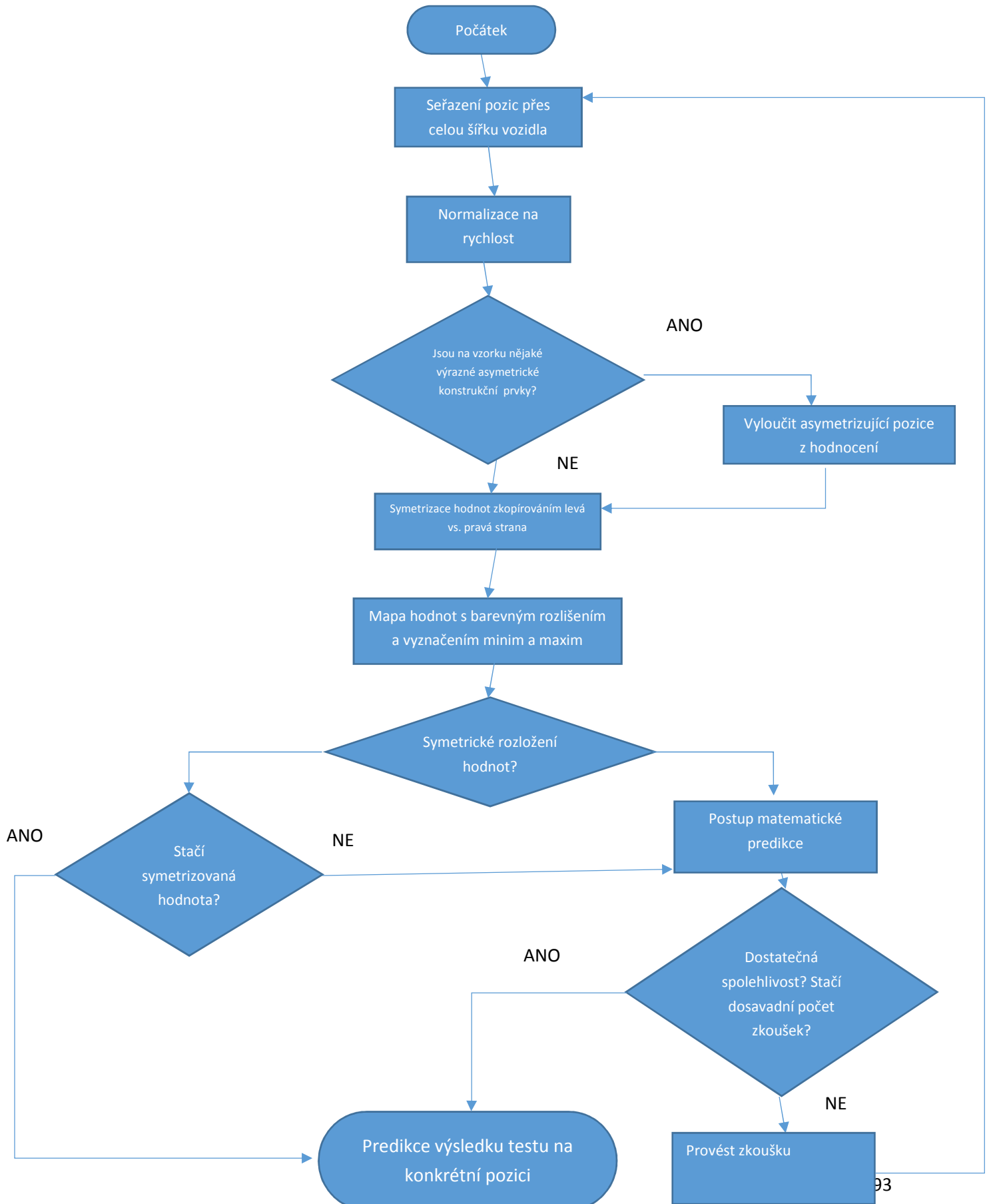
A se symetrizací:



Graf 2 Maximální hodnoty se symetrizací, snímač TiUp přes šířku zóny, vzorek B, smyčka 14_32

Vycházíme-li z maximálních hodnot ze zkoušek, nabízí se při pohledu na srozumitelné barevné tabulkové zápisy uvedené výše, myšlenka predikce. Jen z barev a hodně strohé škály by se jednalo o opravdu hrubý odhad. Pokud je již konstrukce známá, tak se ale odhad na symetrii používá. Když je to na vzorku a oblasti, který je výsledkově daleko od limitů homologace či EuroNCAP, využije se toho a ušetří se zkouška (jak provedení zkoušky, tak např. prototypové díly). Přibližně lze v některých případech predikovat výsledky (do limitu x nad limit) i zkušeností, ale její nevýhodou je subjektivnost. Byť to může znít velmi neprofesionálně, porovnávat kupříkladu FEM výpočtovou predikci a „naučenou praxí“, ještě donedávna byl v předpisu Euro NCAP (38) např. výběr nejhorších testovaných bodů postaven v podstatě na zkušenosti. U homologačních testů (13) zkušební komisař vybírá v rámci dané třetiny podle svého uvážení, obvykle tedy tu odhadem nejtvrďší oblast.

Predikce hodnot na testech může být součástí výše uvedené metodiky. Tu lze v jednoduchosti zapsat takto:

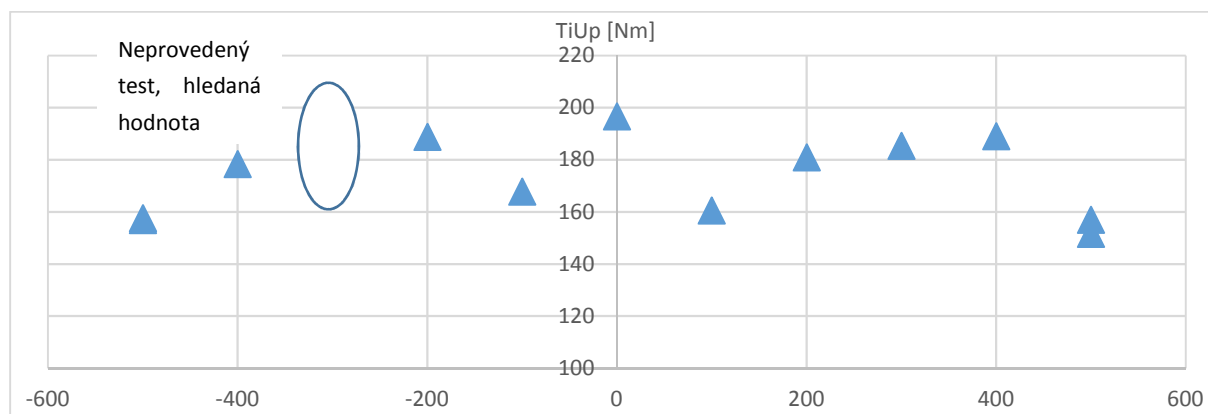


14.4.4. Predikce na maximech

Pro predikci výsledku zkoušky bývá použito obvykle výpočtů FEM, a ačkoli je to levná a progresivní cesta, stále ještě je to velmi nepřesná metoda. I přes různě validované modely prvků automobilu i impaktoru se nedaří dostat stabilní výsledky odpovídající reálným testům.

Výsledky FEM výpočtů se reálným testům snaží blížit, ale ne vždy se to daří. To platí jak pro testy impaktorem Flex PLI, tak i jednoduššími impaktory, jako je např. impaktor dětské hlavy AC35 či dospělé hlavy AD45. Navíc nezáleží jen na impaktoru, ale i na konstrukci testované oblasti, jak materiálově, tak tvarově. Jelikož je většinou celkový výsledek, obvykle maximum naměřené hodnoty, důležitější než samotný průběh, pomáhá se tím, že se nastaví vyšší nárazová rychlost. U testů impaktorem Flex PLI je to z nominálních $11,1 \pm 2$ m/s odpovídajících 39,96 km/h navýšeno na 40,3 km/h. Toto navýšení o přibližně 0,3 km/h se bere jako zhoršení situace, tzv. „worst case“, tak, aby se predikovaly raději horší (vyšší) hodnoty testu.

Pokud již máme některé testy provedené, jednou z možností je dle výše uvedeného diagramu pouhé spolehnutí se na symetrickou pozici. Další možnost je použít okolní pozice a alespoň jednoduchý matematický aparát. (Pozn.: Stále je to práce s jedním číslem na konkrétní zkoušku, pozici a snímač.)



Graf 3 Hodnoty snímače TiUp s naznačenou oblastí hledaného výsledku, vzorek B, smyčka 14_32

Tabulka 13 Hledání odhadu výsledku při použití sousedních pozic, vzorek B, smyčka 14_32

No.	Test no.	T. ID	Y vehicle coordinate	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femur up	Femur middle	Femur low
	yy_xxxx x_zzz		[mm]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab			Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
2	14_32_002	L50	-500	40,69	y1,5/z-3	5,45	7,33	17,33	3,17	157,58	115,78	96,66	81,91	242,06	182,14	95,28
3	14_32_003	L50	-500	40,44	y-2/z0,5	5,28	7,67	16,24	4,09	156,76	122,97	122,37	99,06	256,61	204,59	108,42
4	14_32_004	L40	-400	40,52	y-3/z-1	5,37	7,16	16,01	4,77	178,33	156,15	149,29	124,22	273,61	211,45	120,44
?	14_32_???	L30	-300	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
6	14_32_006	L20	-200	40,54	y5/z-1	4,97	5,17	16,80	4,77	188,68	200,51	189,67	148,81	275,76	237,09	126,65
7	14_32_007	L10	-100	40,49	y-8/z0	4,78	4,48	15,92	4,88	167,71	162,33	168,70	152,28	260,57	209,11	108,29
8	14_32_008	L00	0	40,15	y-7/z0	5,82	5,42	19,37	2,91	196,63	164,91	177,86	156,28	305,34	247,32	128,68
9	14_32_009	R10	100	40,4	y-11/z0,5	4,69	5,09	15,96	4,79	160,50	165,89	173,57	161,10	249,88	200,50	103,74
1	14_32_001	R20	200	40,59	y-0,5/z-2	4,57	5,16	15,49	4,77	180,90	189,34	184,97	153,59	263,50	223,49	117,65
10	14_32_010	R30	300	40,27	y-4,5/z-2	4,80	6,30	16,51	5,10	185,24	195,65	175,93	156,92	286,81	255,19	136,50
11	14_32_011	R40	400	40,54	y1/z-1	5,37	9,74	17,69	4,27	188,97	164,92	148,42	147,32	268,20	212,34	117,70
12	14_32_012	R50	500	40,54	y-3/z-1,5	5,17	9,44	15,51	4,67	151,50	120,38	111,14	95,53	238,58	185,10	109,05
13	14_32_013	R50	500	40,09	y9/z-5	5,23	9,35	15,98	5,13	156,92	125,86	127,77	103,74	235,13	184,46	111,78

Matematicky nejjednodušší možností využití sousedních hodnot je jejich průměrem. Je to ovšem velké zjednodušení spoléhající na linearitu mezi hodnotami. Např. pro hledanou hodnotu pozice -300 průměrem z hodnot na -200 a -400, v případě smyčky 14_32 by to bylo pro TiUp, (kde vyšel testem moment 187,26 Nm) průměr z 178,33 a 188,68 = 183,5 Nm. Zpřesněním může být ještě přidání dalšího parametru ve formě symetrické hodnoty, z druhé strany. (Pokračování příkladu TiUp: $(183,5+185,24)/2=184,37$ Nm) Toto je možné používat v oblastech, kde je rozdíl mezi hodnotami malý a nedojde k výraznému zkreslení. Již z grafu je jasné, že použití pro odhad hodnot např. na nulové pozici jsou tyto metody nevhodné a výsledek vyjde daleko od možného výsledku reálného testu.

V případě, že hledáme odhad hodnoty na konkrétní pozici a počítáme pouze s maximy sousedních pozic, nabízí se jako ještě relativně jednoduché řešení proložení hodnot vhodně zvoleným polynomem.

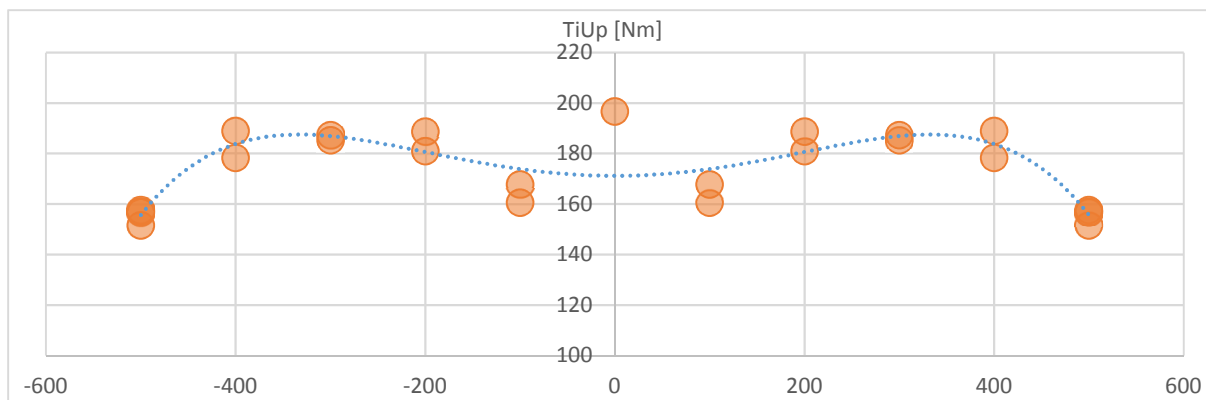
Polynom n-tého řádu

$$f(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i = a_0 + a_1 x^1 + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n \quad \text{pro } a_n \neq 0 \quad \text{R. 13}$$

zjednodušíme na polynom maximálně 6-tého řádu.

$$f(x) = \sum_{i=0}^6 a_i x^i = a_0 + a_1 x^1 + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + a_5 x^5 + a_6 x^6 \quad \text{R. 14}$$

Takový a nižší se dají snadno vyobrazit v MS Excel jako spojnice trendu.



Graf 4 Spojnice trendu v MS Excel, polynom 6-tého řádu, vzorek B, smyčka 14_32

Aby se ovšem dalo pracovat s hodnotami reálných testů (a nemusela se přepisovat rovnice trendu do buněk), vznikl přepočtení soubor s použitím funkce Linregrese (byť to dle názvu nevypadá, je to polynomičká regrese). Tento soubor vypočítává jednotlivé členy polynomu, pro všechny hodnocené snímače. Pro 6-tý stupeň polynomu pro TiUp vzorku B, smyčky 14_32 vychází koeficienty:

	a6	a5	a4	a3	a2	a1	a0
Ti Up	-1,25905E-15	-3,30088E-15	-1,04628E-09	1,05265E-10	0,000278061	0,000171441	171,2138871

Což dává výsledek pro pozici -300

pozice	výpočet dle polynomu	průměr výsledků reálných testů vlevo a vpravo	rozdíl	rozdíl v %
-300	186,800	186,25	-0,550	-0,29

Pro další polynomy je to

	a5	a4	a3	a2	a1	a0
Ti Up	4,43354E-16	-1,53497E-09	-1,41386E-11	0,000324608	-2,30268E-05	170,5380967

	pozice	výpočet dle polynomu	průměr výsledků reálných testů vlevo a vpravo	rozdíl	rozdíl v %
Stupeň 5	-300	187,326	186,25	-1,075	-0,57

	a4	a3	a2	a1	a0
Ti Up	-1,53497E-09	1,29127E-10	0,000324608	-3,17033E-05	170,5380994

	pozice	výpočet dle polynomu	průměr výsledků reálných testů vlevo a vpravo	rozdíl	rozdíl v %
Stupeň 4	-300	187,326	186,25	-1,075	-0,57

	a3	a2	a1	a0
Ti Up	-2,72503E-08	-8,63249E-05	0,006690504	183,2181552

	pozice	výpočet dle polynomu	průměr výsledků reálných testů vlevo a vpravo	rozdíl	rozdíl v %
Stupeň 3	-300	174,178	186,25	12,073	6,93

	a2	a1	a0
Ti Up	-8,64847E-05	0,001135327	183,2776518

	pozice	výpočet dle polynomu	průměr výsledků reálných testů vlevo a vpravo	rozdíl	rozdíl v %
Stupeň 2	-300	175,153	186,25	11,097	6,34

	a1	a0
Ti Up	0,001465953	172,0665402

	pozice	výpočet dle polynomu	průměr výsledků reálných testů vlevo a vpravo	rozdíl	rozdíl v %
Stupeň 1	-300	171,627	186,25	14,624	8,52

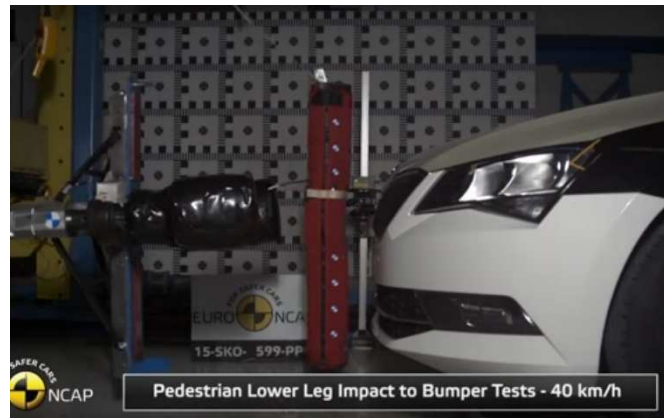
Žlutě je vybarvena buňka s hodnotou přesahující 5%, případně červeně pro 10% a více. I takové hodnoty se pro některé snímače a některé pozice u tohoto vzorku objevily. Proložení polynomem je pro hledání tzv. chybějících hodnot jedna z možností. Jelikož se jedná o hodnoty testů na složité struktuře automobilu složitým impaktorem Flex PLI, při spouště vstupních parametrů testu, nejde použít metod využívajících normální rozdělení.

14.5. Analýza celého průběhu nárazu

Pokud ale máme k dispozici celý průběh dat, je možné se podívat na zkoušku podrobně a zanalyzovat chování impaktoru. Zjištěním průběhu křivky jednotlivých snímačů je možné sledovat jejich vzájemnou závislost, závislost na intruzi do vzorku, na testované pozici, výšce automobilu, jeho designu, výšce nárazníku, šířce zóny a podobně.

Velmi dobře poslouží také vysokorychlostní video zkoušky. Dopad impaktoru na vzorek a celý náraz trvá přibližně 50 – 70 ms, což lze popsat snímkováním 1000 fps, lépe však 2000 fps. Když jsou data ze snímačů a z kamer synchronizována (což obvykle bývají, např. spínanými kontakty v místě prvního dotyku), můžeme si dovolit celkový náhled na průběh nárazu.

Pokusme se nyní takto jako příklad zanalyzovat náraz do vozidla vzorek B, středová pozice. Jak již bylo zmíněno, jedná se o koncepci typu limuzína, spodní opěrná rovina na testovaném vzorku byla pouze plastová, součástí vnějšího krytu nárazníku. K analýze bylo použito vysokorychlostní video z testu, zde je opět použit veřejně dostupný materiál typově odpovídajícího automobilu. Křivky nejsou ze zkušebny EuroNCAP, jsou opět reálné, naměřené.



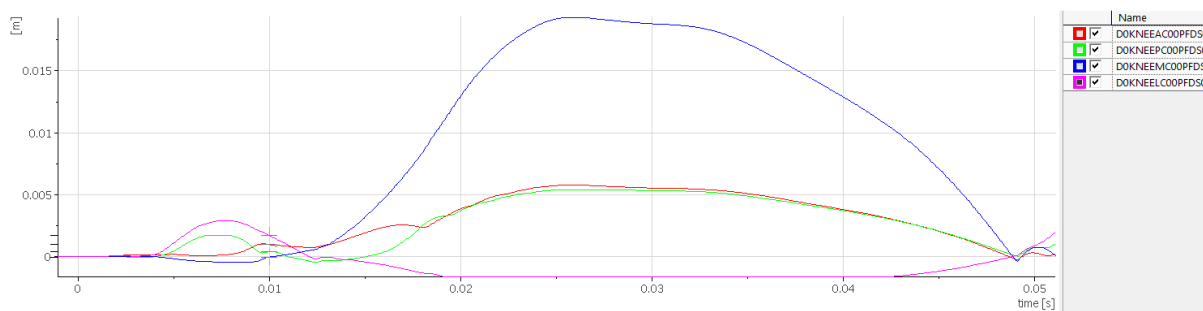
Obr. 105 Impaktor přibližně 5 ms před dopadem



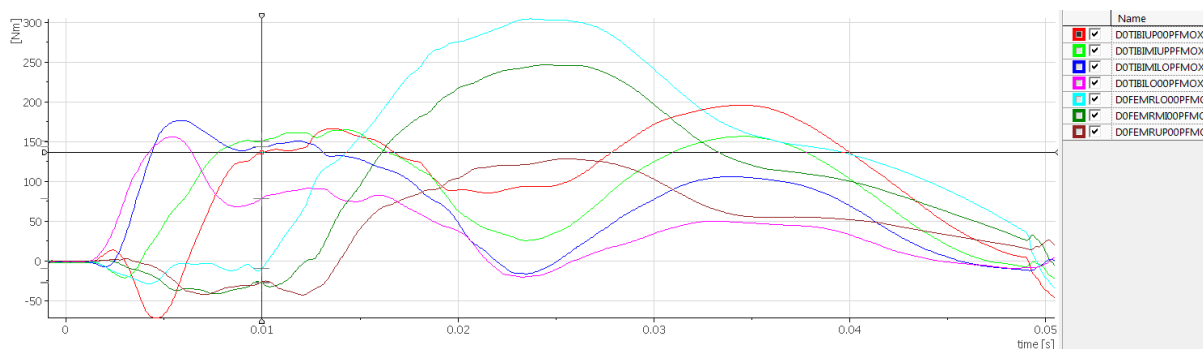
Obr. 106 Dopad impaktoru, tzv. časová nula



Obr. 107 Čas 10 ms po dopadu, stehenní kost se ohýbá dozadu; koleno je téměř rovné, nejnižší části holeně jsou ohýbány přes spodní část nárazníku



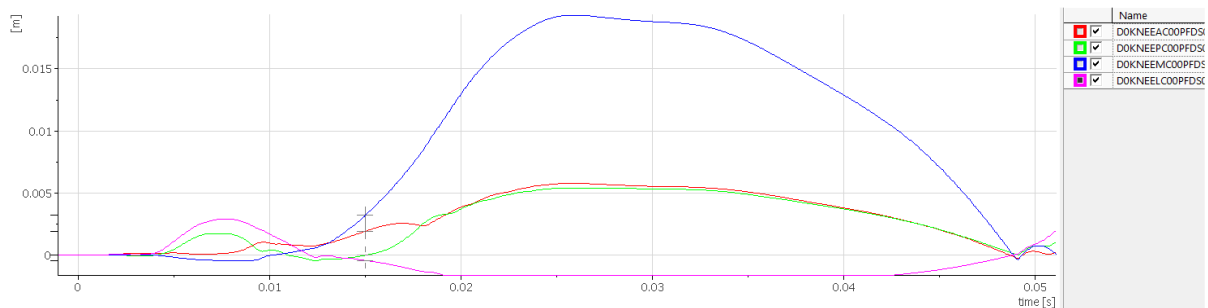
Obr. 108 Čas 10 ms po dopadu, potenciometr v koleně ACL mírně narostl a zůstává přibližně na stejné hodnotě; PCL, MCL nabývají nízkých hodnot, LCL na straně nárazu je již za svým maximem; vzorek B, test 14_32_008



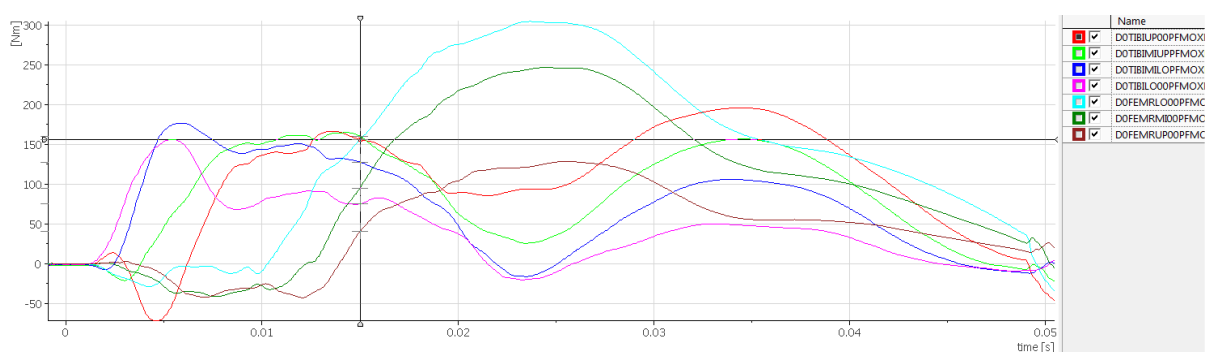
Obr. 109 Čas 10 ms po dopadu, stehenní tenzometry jsou v záporných hodnotách, kost se ohýbá dozadu; holeň se ohýbá přes nárazník, nejnižší položené tenzometry na holeni TiLo, TiMiLo již dosáhly svého maxima; po nich krátce stoupají ostatní tenzometry na holeni; vzorek B, test 14_32_008



Obr. 110 Čas 15 ms, stehenní kost se narovná a dále přiklání k vozidlu; holeň se stále ohýbá na nárazníku, některý z holenních tenzometrů může dosáhnout maxima



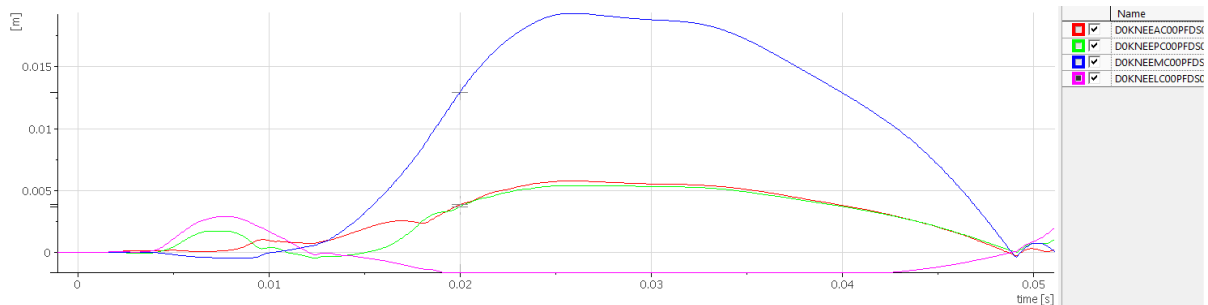
Obr. 111 Čas 15 ms, potenciometr MCL, který je na odvrácené straně automobilu vykazuje rychlý nárůst hodnot, protože se koleno začíná více ohýbat; ACL stoupá na polovinu svého maxima



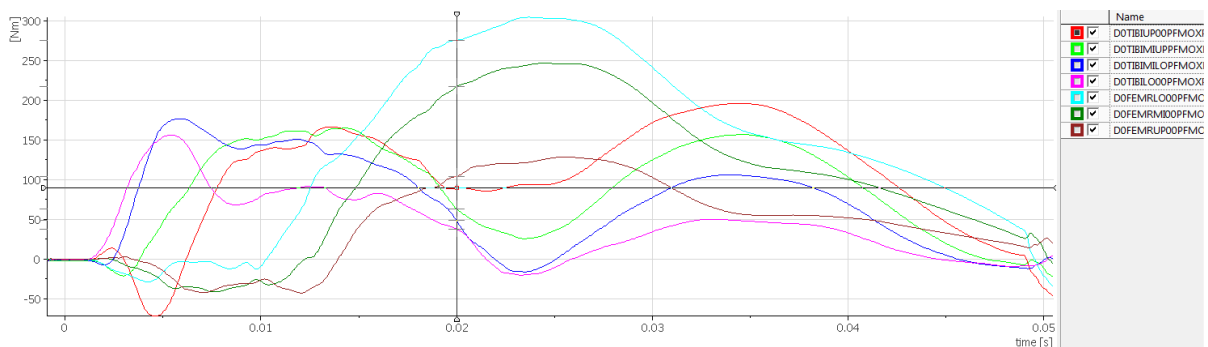
Obr. 112 Čas 15 ms, stehenní tenzometry narůstají (narovná se kost - protínají nulu) a dále stoupají; na deformovaném nárazníku může některý z holenních tenzometrů, např. TiMiUp dosáhnout maxima.



Obr. 113 Čas 20 ms, stehno se více ohýbá na kapotu, kolenní část se výrazně ohýbá a jeho nenárazová strana se rozevívá; holenní kost se začíná narovnávat.



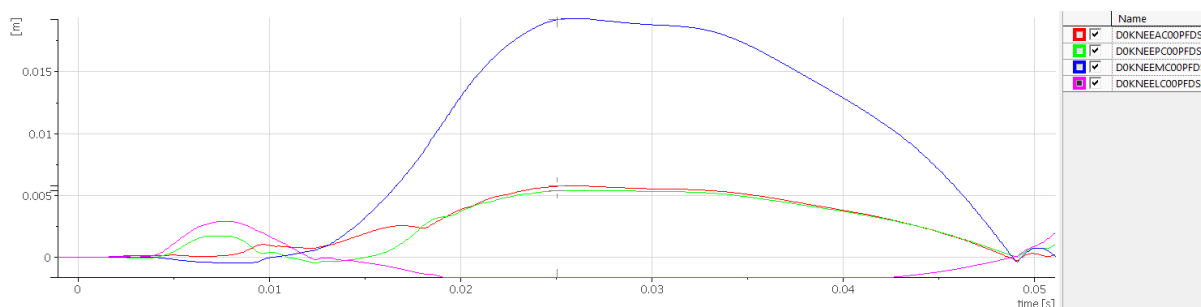
Obr. 114 Čas 20 ms, potenciometry vykazují nárůst signálu, koleno se ohýbá, zejména MCL, protože se rozevívá nenárazová strana



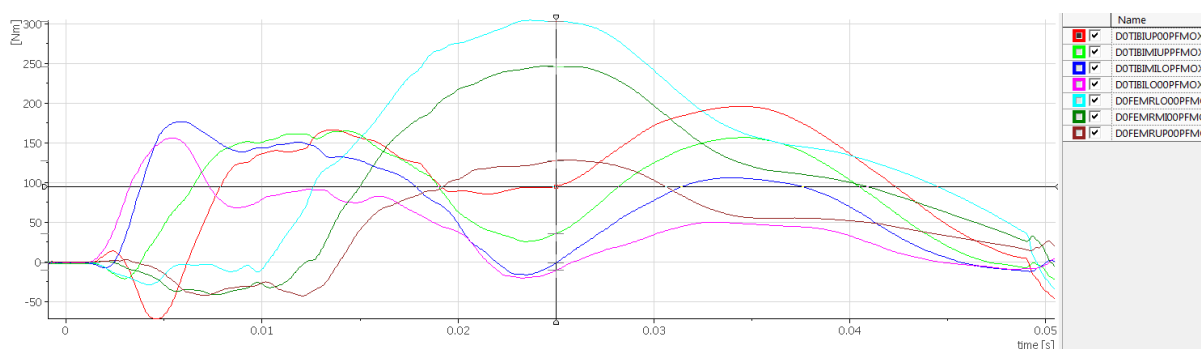
Obr. 115 Čas 20 ms, stehno se více ohýbá na vozidlo, signály stehenních tenzometrů stoupají; signály tenzometrů na holeni klesají, protože se holenní část začíná narovnávat



Obr. 116 Čas 25 ms, stehenní kost je nejvíce ohnutá; stejně tak koleno; holeň se vlivem působení kolene a odrazem začíná opět ohýbat, odpoutává se od nárazníku



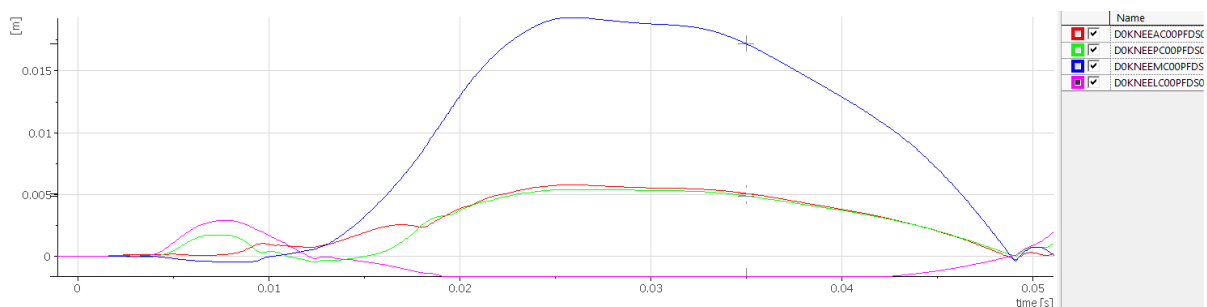
Obr. 117 Čas 25 ms, potenciometry v koleně dosáhly svého maxima (zejména je to zřetelné na MCL na nenárazové straně), koleno je nejvíce ohnuto



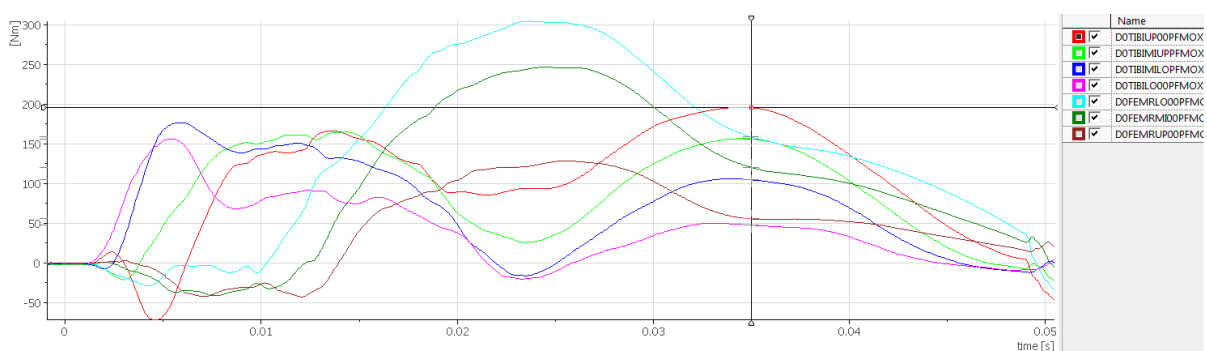
Obr. 118 Čas 25 ms, stehenní tenzometry vykazují maximální hodnoty, kost nejvíce ohnutá; tenzometry na holeni, poté, co se některé (spíše spodní, TiLo, TiMiLo) mohly dostat do záporných hodnot (holeň mírně prokmitla), opět rostou, ačkoli nejsou v kontaktu s nárazníkem, odrazem i tahem zbytku nohy.



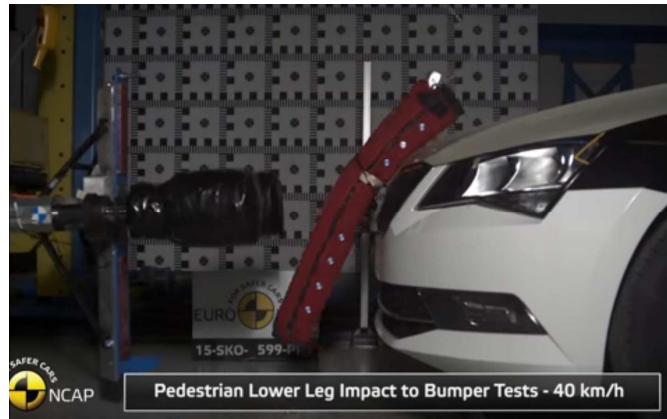
Obr. 119 Čas 35 ms, stehenní kost se opět začíná narovnávat; koleno je stále velmi ohnuté, začíná se rovnat, přitahuje holeň, která se zároveň odráží od nárazníku



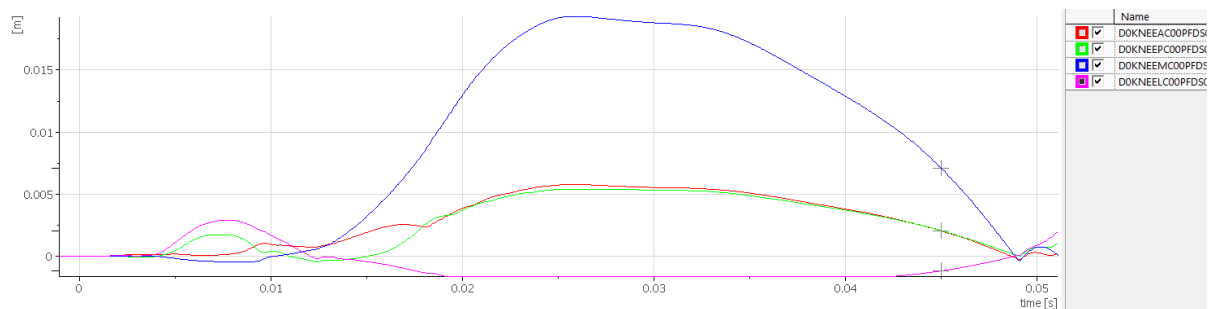
Obr. 120 Čas 35 ms, potenciometry v koleně vykazují mírný pokles, ještě stále jsou na vysokých hodnotách, koleno se začíná rovnat



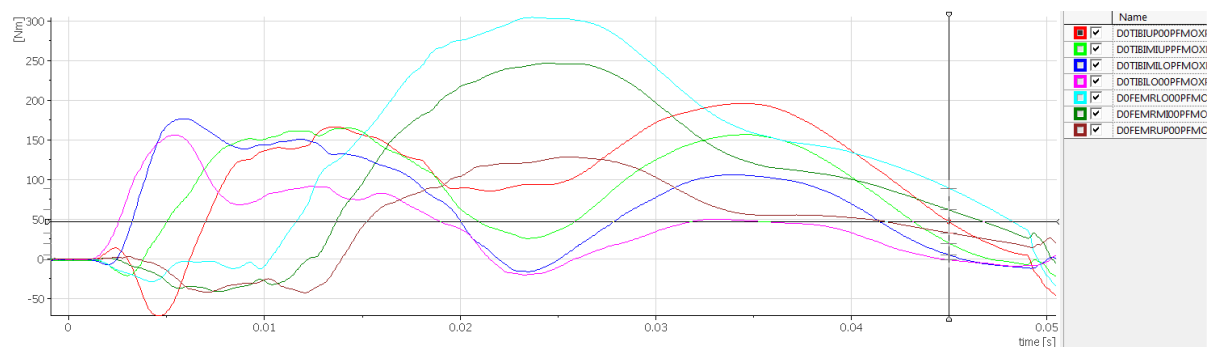
Obr. 121 Čas 35 ms, stehenní tenzometry klesají, protože se tato část narovnávat; tenzometry na holeni mohou dosahovat svého maxima i když už v podstatě nejsou v kontaktu s vozidlem, zejména horní, TiUp nebo TiMiUp, protože se holeň odrazila od nárazníku, zároveň se koleno se začalo vracet do původní polohy a holeň tak ohýbá



Obr. 122 Čas 45 ms, kost stehenní části se dál narovnává, i koleno a holeň se blíží k původnímu stavu



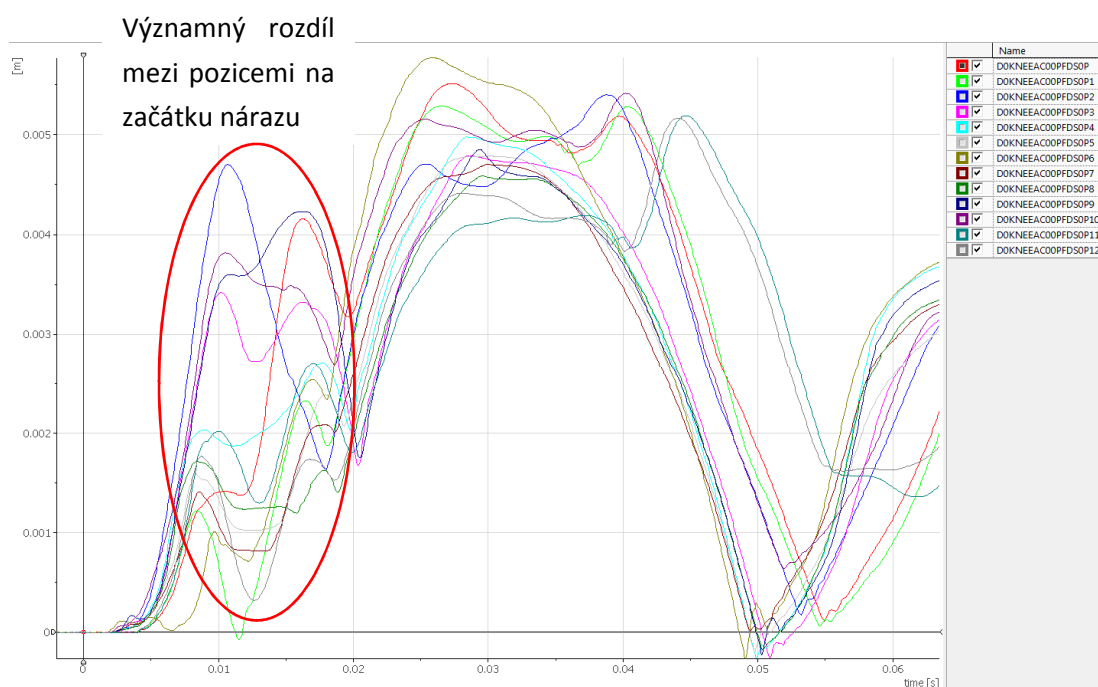
Obr. 123 Čas 45 ms, potenciometry míří k nule, koleno se narovnává



Obr. 124 Čas 45 ms, stehenní tenzometry míří k nulovým hodnotám, stehno se dál narovnává; tenzometry holeně jsou také velmi blízko nule, některé ji již protnuly

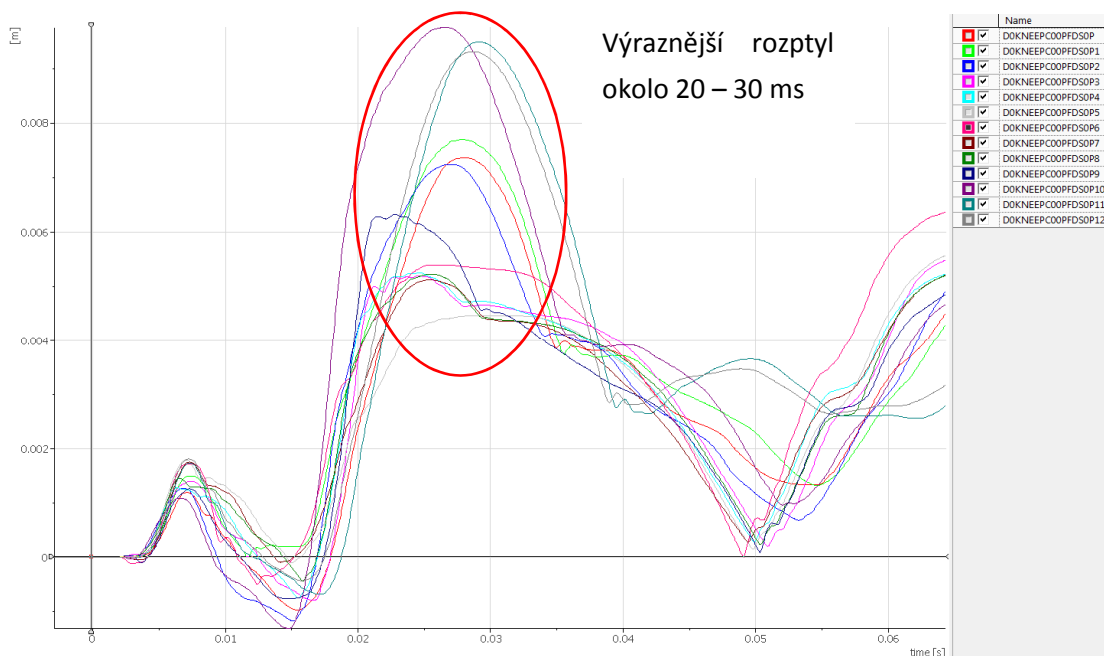
To byla analýza jednoho testu, na konkrétním vzorku na jedné pozici. Velmi zajímavý je fakt, že některé snímače dosahují maximálních hodnot, i když už se v tomto místě nárazníku nedotýkají.

Pokud jsou do jednoho grafu dány snímače z různých pozic, je vidět, že se neliší jen v maximálních hodnotách, ale i v průbězích.



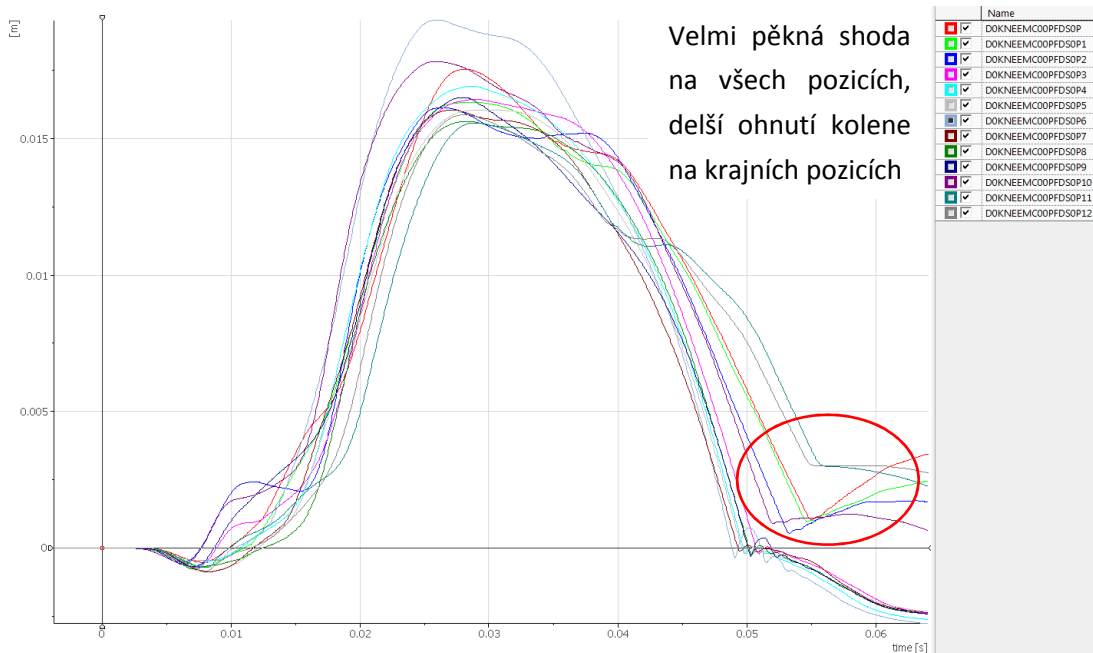
Obr. 125 Průběh signálů na snímači ACL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32

Potenciometr ACL vykazuje výrazný výkmit na začátku, maximum dosahuje, dle pozice, až 30 - 45 ms.



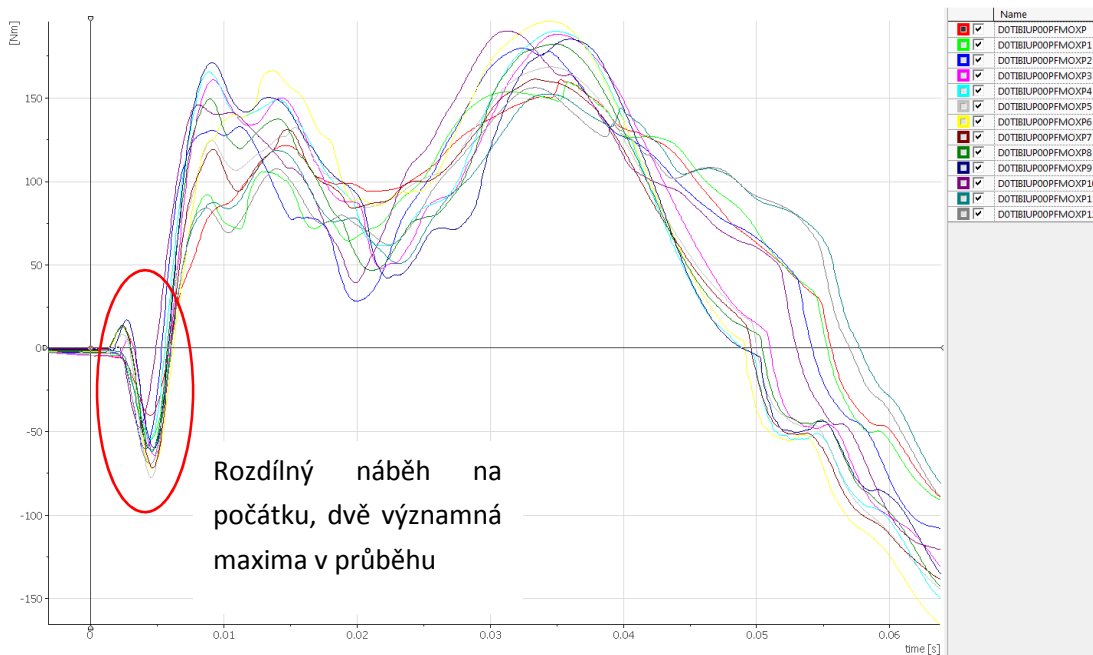
Obr. 126 Průběh signálů na snímači PCL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32

PCL potenciometr se na počátku zatáhne ve většině případů i pod nulovou hodnotu, maximum dosahuje okolo 20 – 30 ms, výrazné je zejména v krajních pozicích.



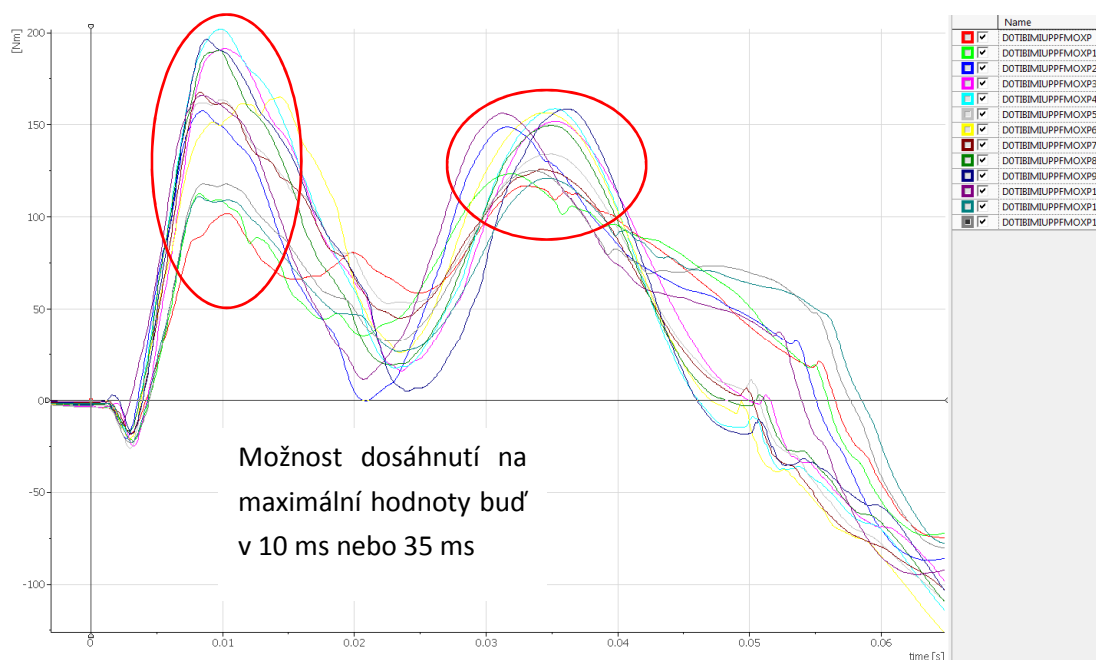
Obr. 127 Průběh signálů na snímači MCL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32

MCL vykazuje dobrou shodu mezi testovanými pozicemi nejen na maximech, ale i v průběhu.



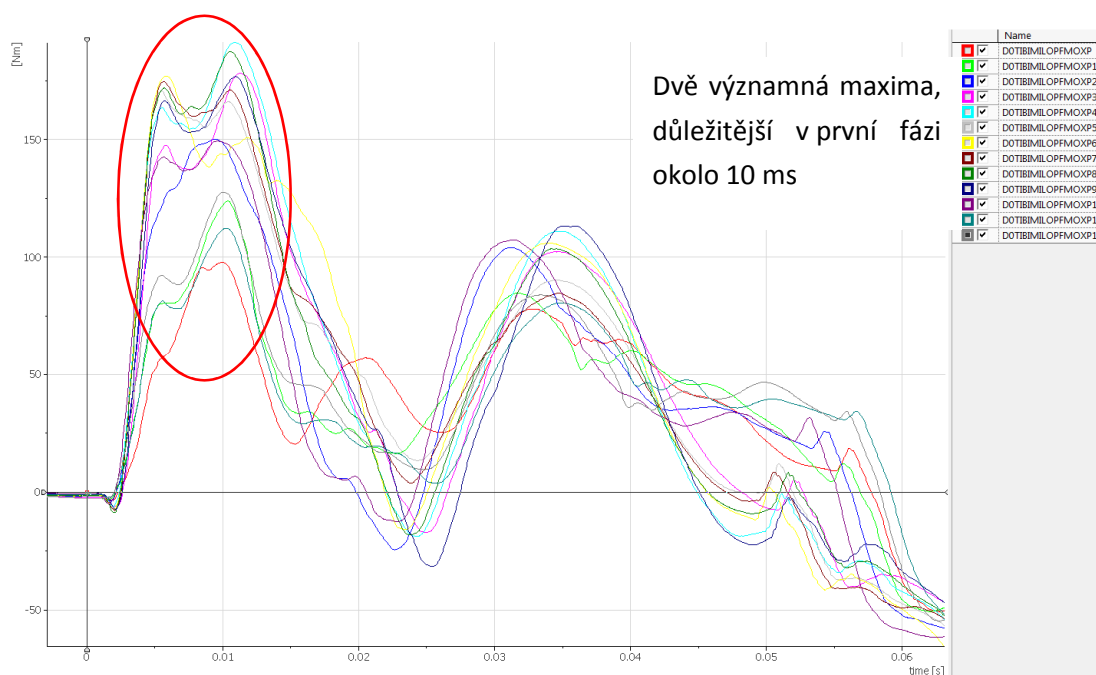
Obr. 128 Průběh signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32

Tenzometr v horní části holeně TiUp vykazuje rozptyl v nejrannější fázi nárazu.



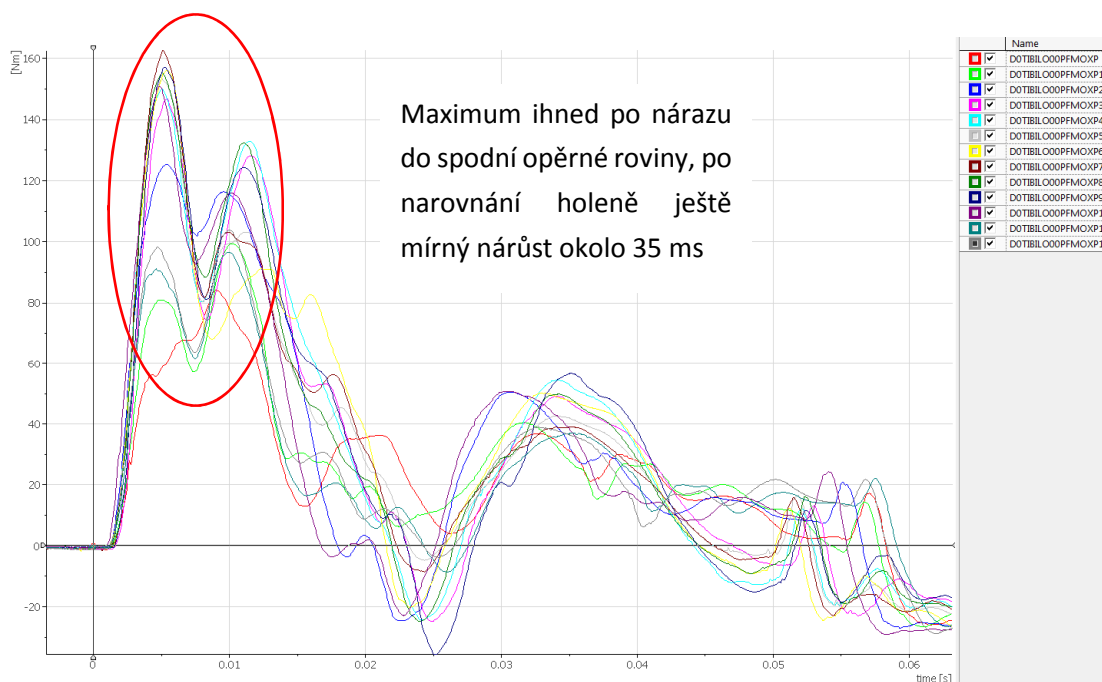
Obr. 129 Průběh signálů na snímači TiMiUp přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32

Holenní část se v místě TiMiUp během nárazu ohne v podstatě dvakrát, maxima může dosáhnout jak vlastním nárazem holeně nárazníku, tak i ohybem po odrazu a tahem kolene.



Obr. 130 Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32

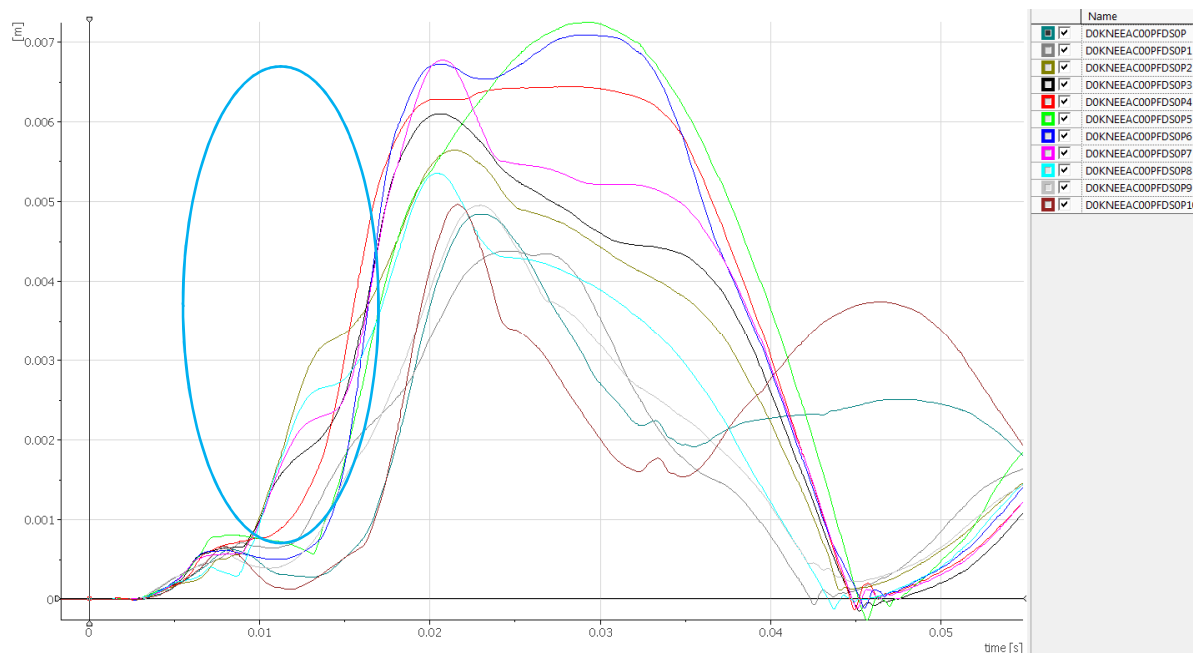
Na tenzometru TiMiLo je viditelný vliv prvního nárazu do nárazníku. S přispěním vlivu spodní opěrné roviny (být relativně měkké, plastové) lze usuzovat na vyšší peak v této oblasti. Dokonce vyšší než na TiLo (na následujícím grafu).



Obr. 131 Průběh signálů na snímači TiLo přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32

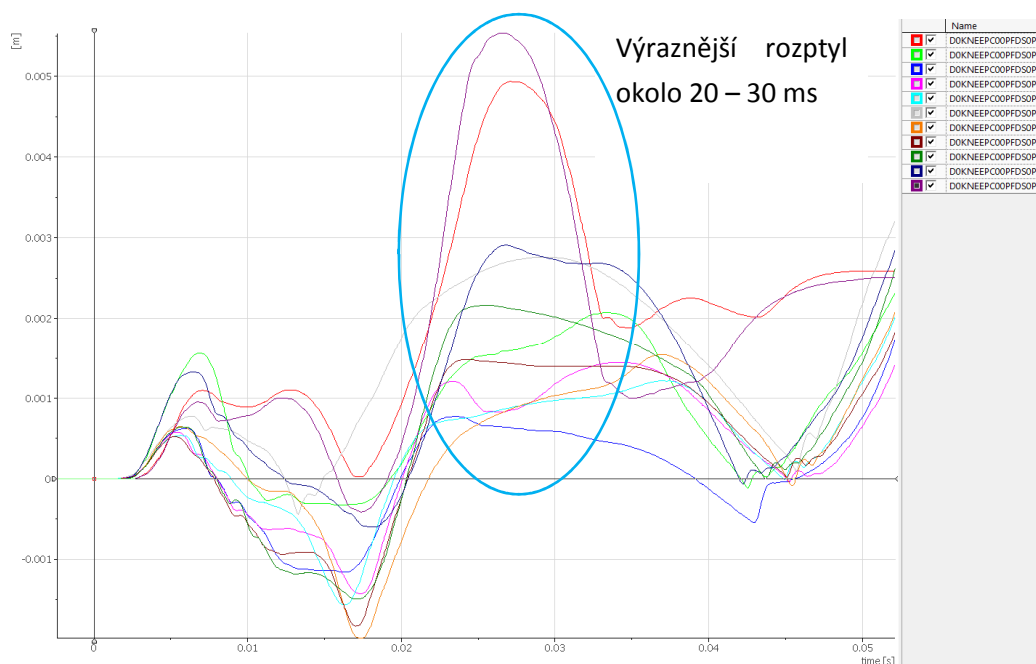
Na tenzometru TiLo je ještě více znatelný vliv nárazníku a spodní opěrné roviny. Tím, že je tento snímač dál od kolene, na druhém peaku již nedosahuje takových hodnot.

Porovnání signálů z hodnocených snímačů přes všechny pozice na testech vzorku A:



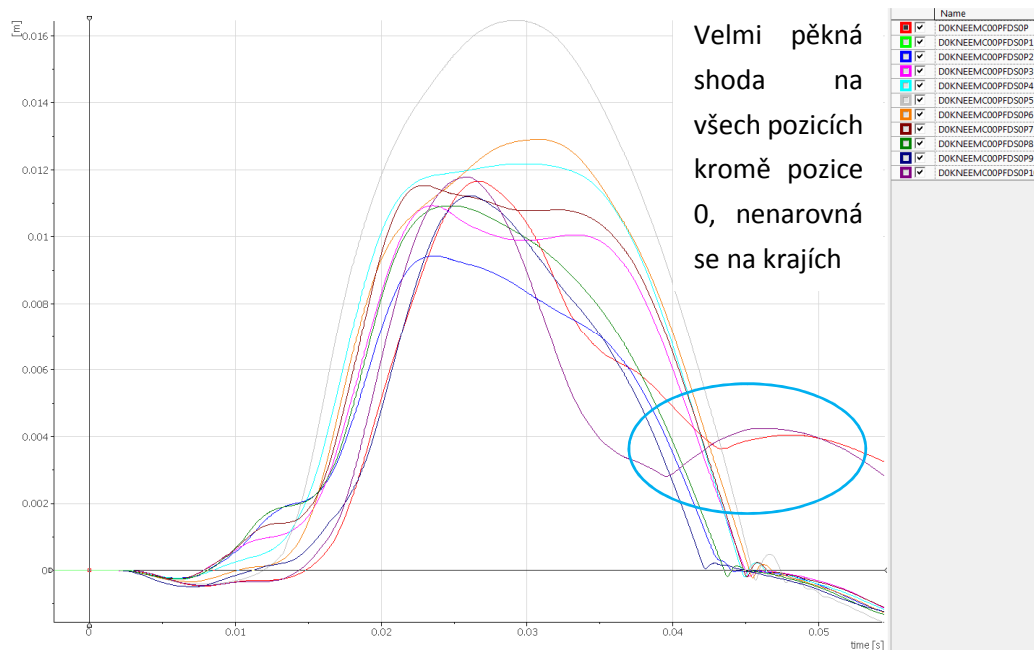
Obr. 132 Průběh signálů na snímači ACL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Potenciometr ACL oproti vzorku B nemá výrazný výkmit na začátku, maximum dosahuje, dle pozice, až 20 - 30 ms.



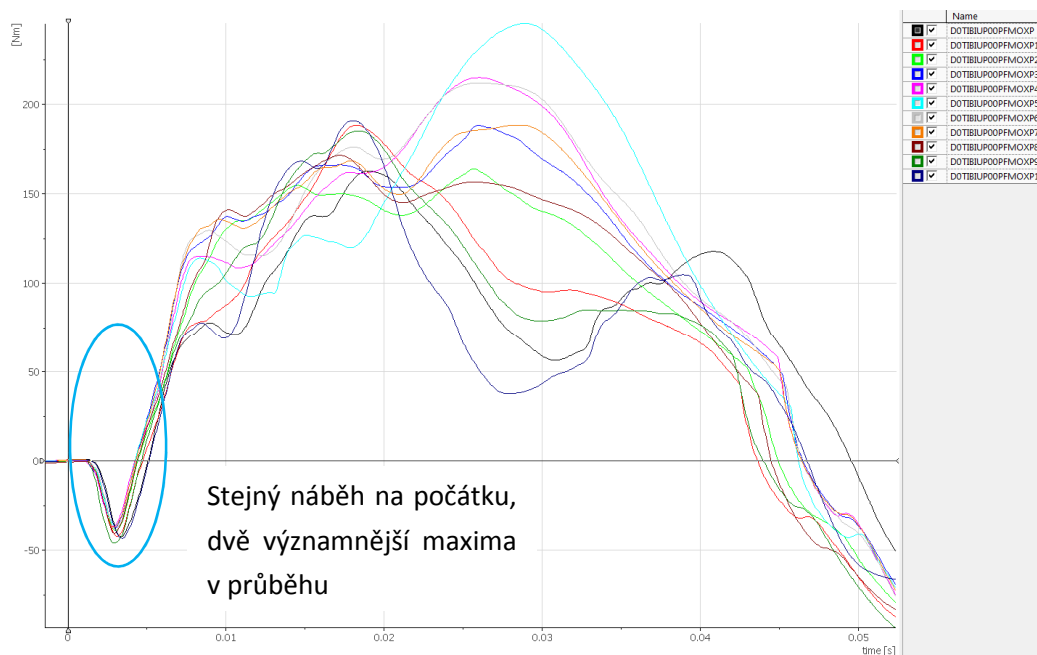
Obr. 133 Průběh signálů na snímači PCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

PCL se do 20 ms zkrátí ve většině případů i pod nulu, maximum dosahuje okolo 25 – 30 ms, výrazné je opět zejména v krajních pozicích.



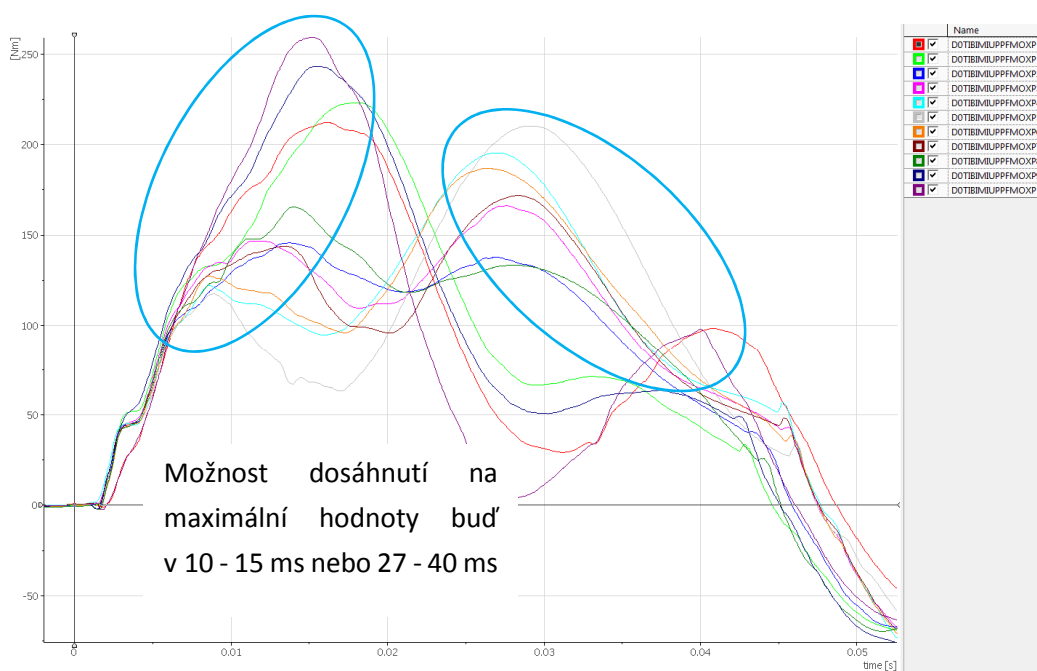
Obr. 134 Průběh signálů na snímači MCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

MCL vykazuje relativně dobrou shodu mezi testovanými pozicemi (kromě 0) nejen na maximech, ale i v průběhu.



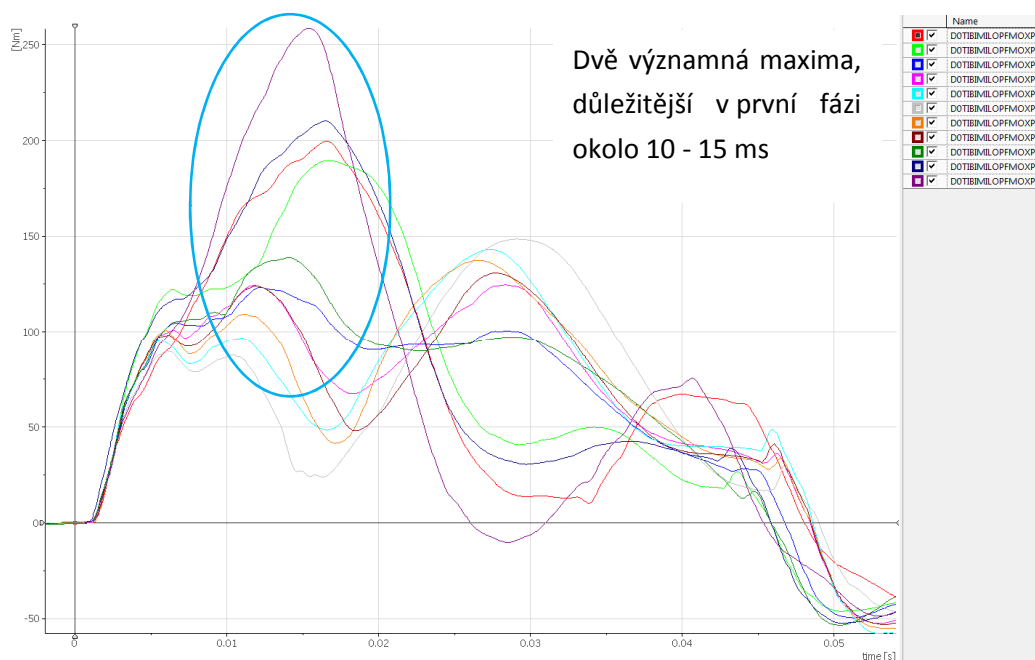
Obr. 135 Průběh signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Tenzometr v horní části holeně TiUp byl na počátku nárazu ve velmi dobré shodě mezi pozicemi.



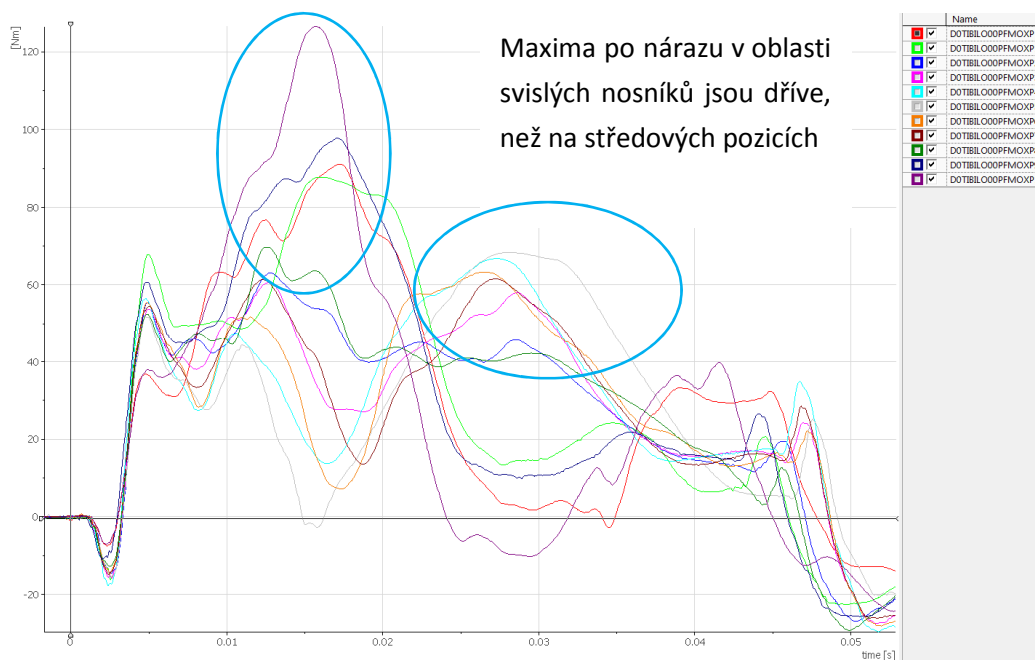
Obr. 136 Průběh signálů na snímači TiMiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Holenní část se v místě TiMiUp i během nárazu na vzorek A ohne v podstatě dvakrát, maxima může také dosáhnout jak vlastním nárazem holeně nárazníku, tak i ohybem po odrazu a tahem kolene.



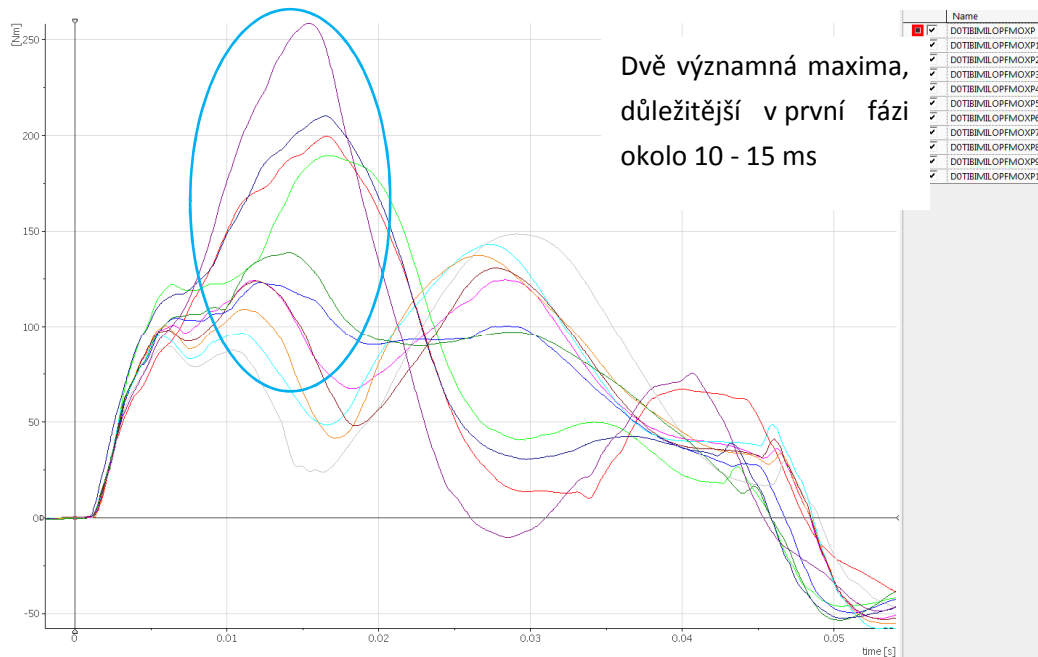
Obr. 137 Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Na tenzometru TiMiLo je viditelný vliv prvního nárazu do nárazníku. S přispěním vlivu tuhé spodní opěrné roviny lze usuzovat na vyšší peak v této oblasti. Na tomto modelu výrazně vyšší než na vzorku B.



Obr. 138 Průběh signálů na snímači TiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

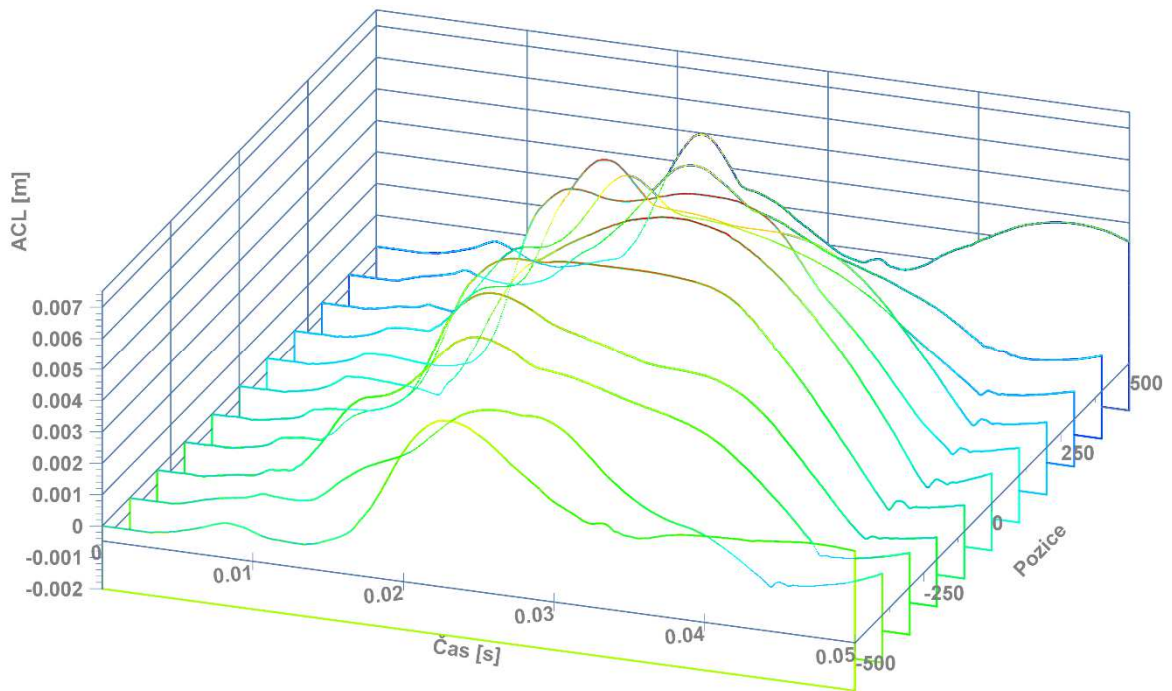
Na vzorku A s tuhou soudní rovinou a svislými nosníky je poněkud jiný průběh signálu TiLo oproti vzorku B. Na krajních pozicích, kde jsou nosníky je maximum větší a dochází k němu dříve, na středových pozicích signál podobný signálu TiMiLo.



Obr. 139 Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

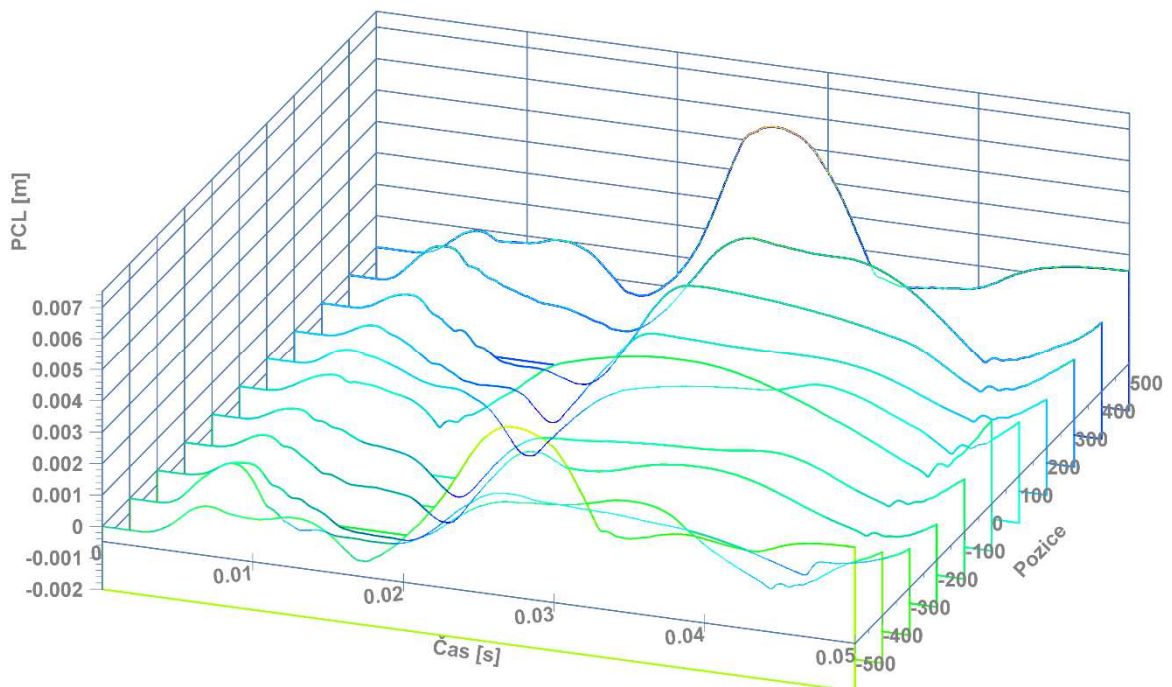
Analýza křivek signálů v závislosti na čase, dokonce v porovnání s vysokorychlostním videem je velmi užitečná. Už to není jen problém jednoho čísla, maxima, které nám vypovídá o možnosti překročení limitů či nikoli, ale z křivek můžeme usuzovat na vzájemné chování impaktoru a zkoušeného vzorku. Lze pak nalézt i okamžik dosáhnutí maximální hodnoty, který, jak bylo zjištěno, může být i na jednom automobilu na různých pozicích v jiné fázi dopadu. Když jsou přidány signály z několika snímačů do jednoho grafu, jak bylo provedeno výše, lze vypořádat i jejich vzájemné působení.

Pokusme se ale na zkoušky nahlížet ještě více globálně a porovnávat křivky na jednom automobilu mezi sebou, protože vlastně popisují celou šířku zkoušené zóny a mohou tak dát ucelenější informace. Výrazně přehlednější, než dosud zmíněné běžné grafy, by pro tento účel mohly posloužit 3D grafy.



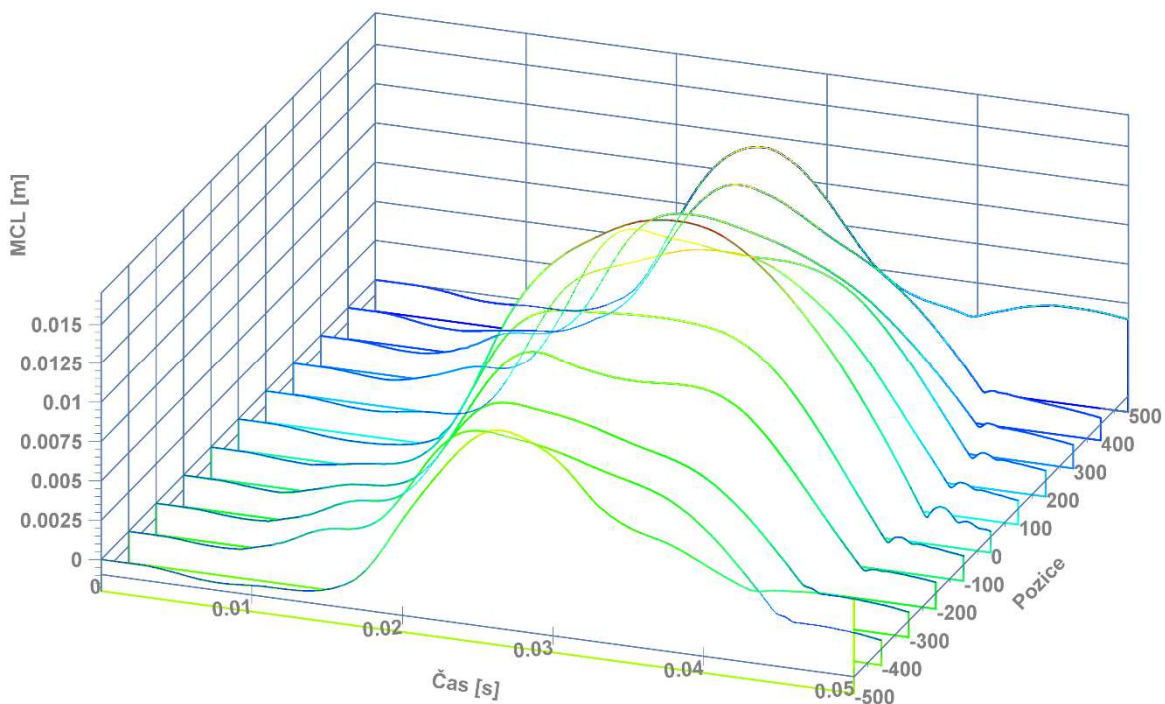
Obr. 140 Průběh signálů na snímači ACL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Signál potenciometru ACL má „klidný“ průběh bez výrazných peaků přes celou šířku zóny, na krajích jsou menší a kratší, ale neklesají na nulu. Měřítka grafu bylo zvoleno stejné pro ACL a PCL stejné.



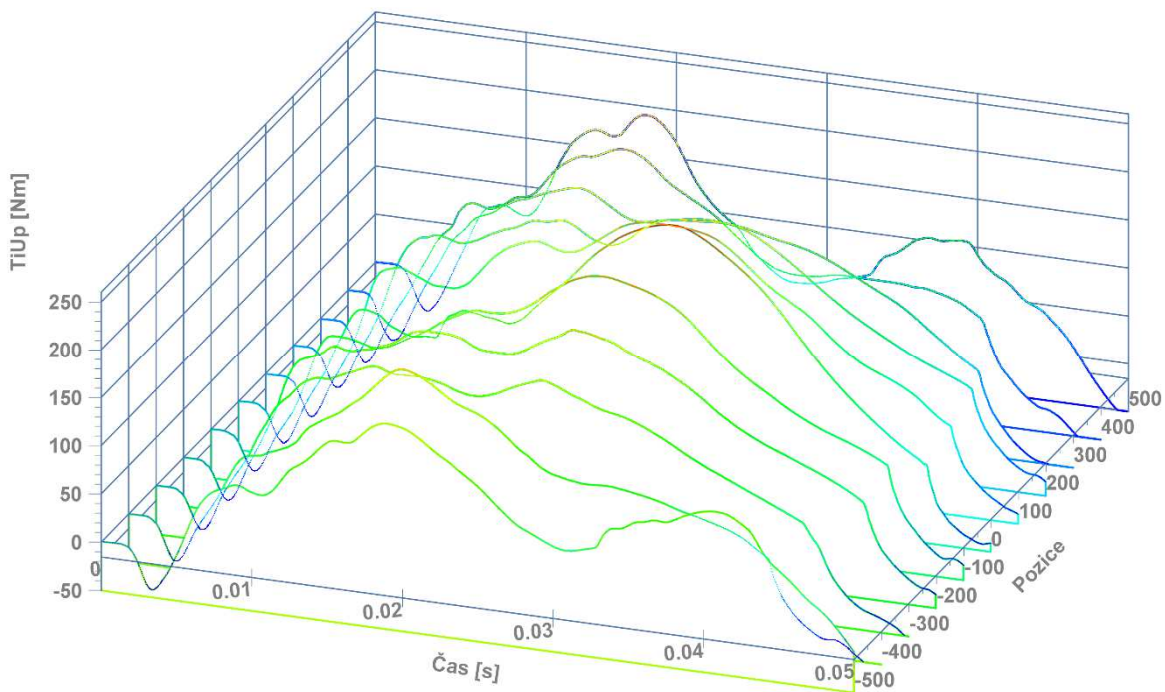
Obr. 141 Průběh signálů na snímači PCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Na pozici 0L00 (ale ne hned na sousedních!) a u krajních pozic se PCL zvětšuje.



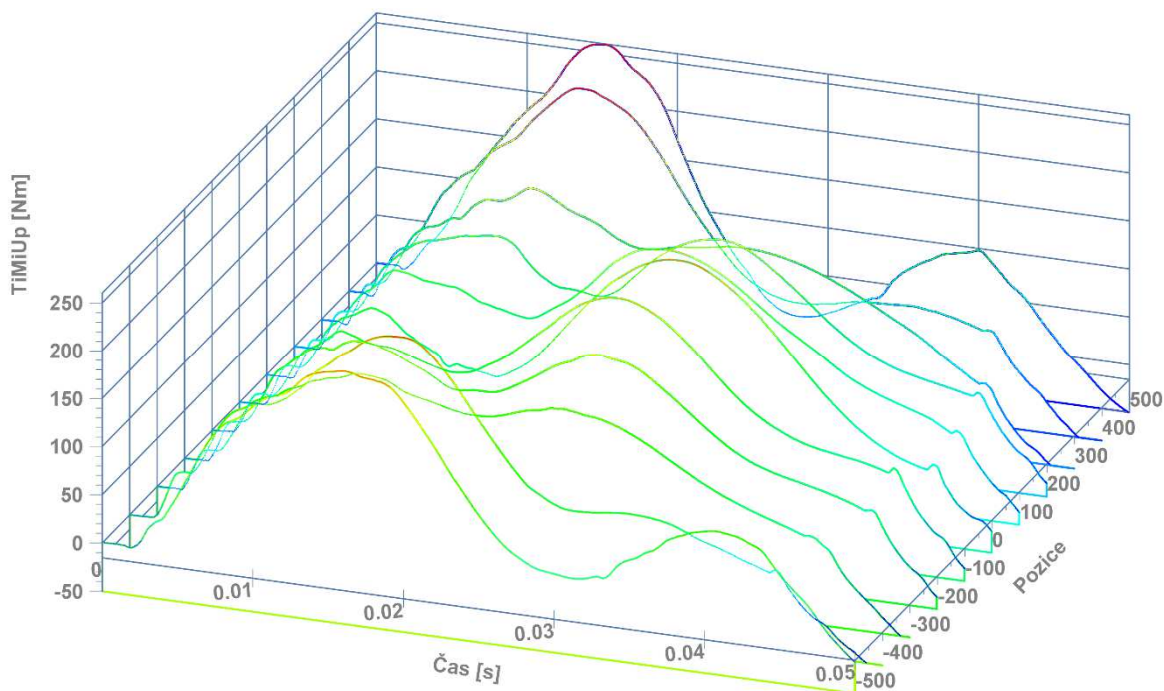
Obr. 142 Průběh signálů na snímači MCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

MCL má výraznější hodnoty zejména ve střední části automobilu (-100 - +100) a poté až na krajích.



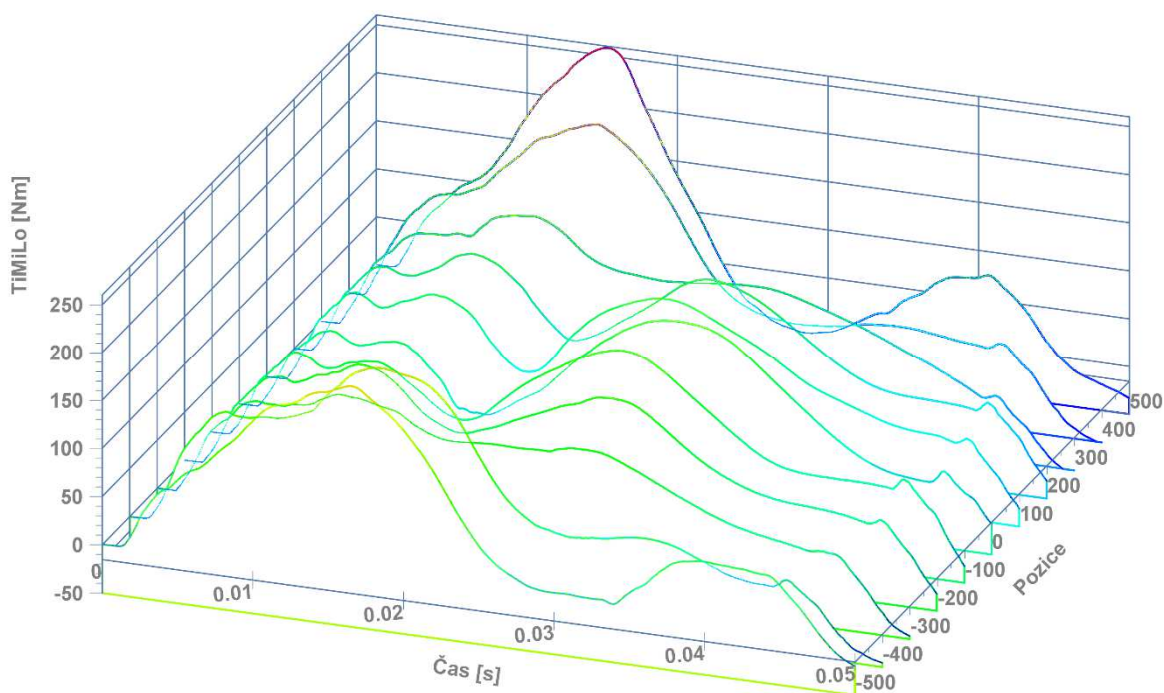
Obr. 143 Průběh signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Na TiUp je na nulové pozici pomalejší náběh, ale hodnota je zde nejvyšší. Na krajích je viditelný nárůst druhého peaku, v době, kdy už se snímač vzdaluje od nárazníku.



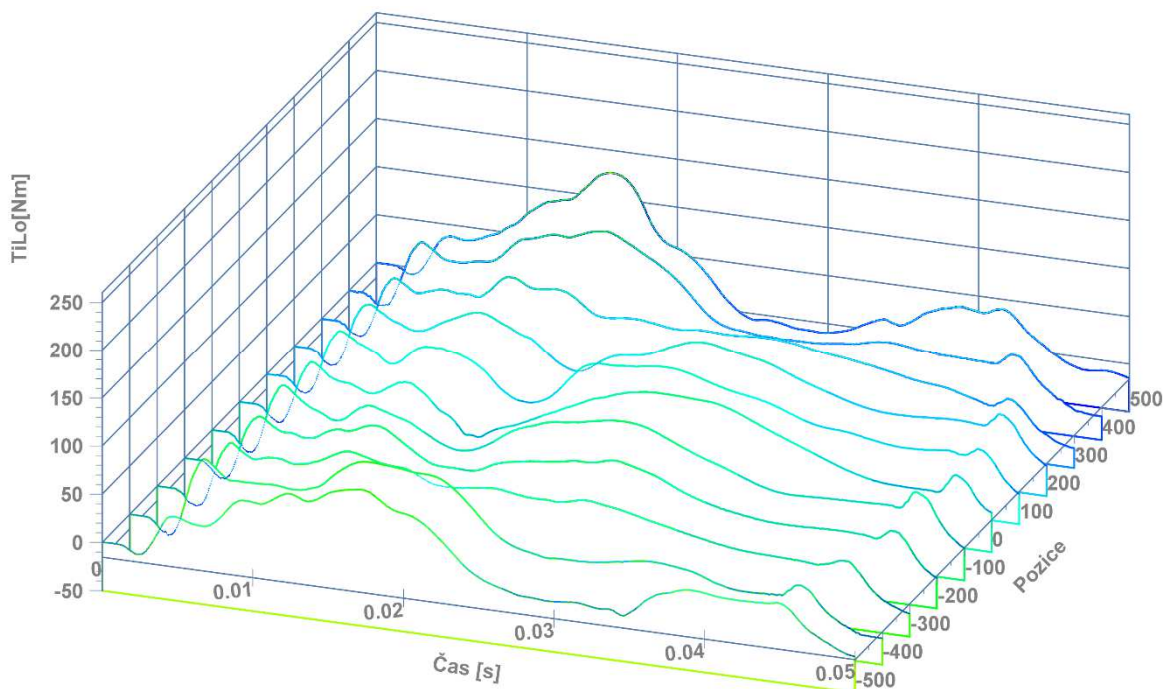
Obr. 144 Průběh signálů na snímači TiMiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Krajové pozice na TiMiUp nabíhají rychle až do maximálních hodnot, jsou tam největší z celé zkoušené zóny. Další významné maximum je okolo středu, ale v čase, kdy není oblast v kontaktu s vozidlem.



Obr. 145 Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Výsledky na tenzometru TiMiLo jsou na tomto vzorku velmi podobné tenzometru TiMiUp, i tendence krajů na začátku děje a středu v průběhu odrazu si přibližně odpovídají. Jen hodnotově je většina pozic níže.



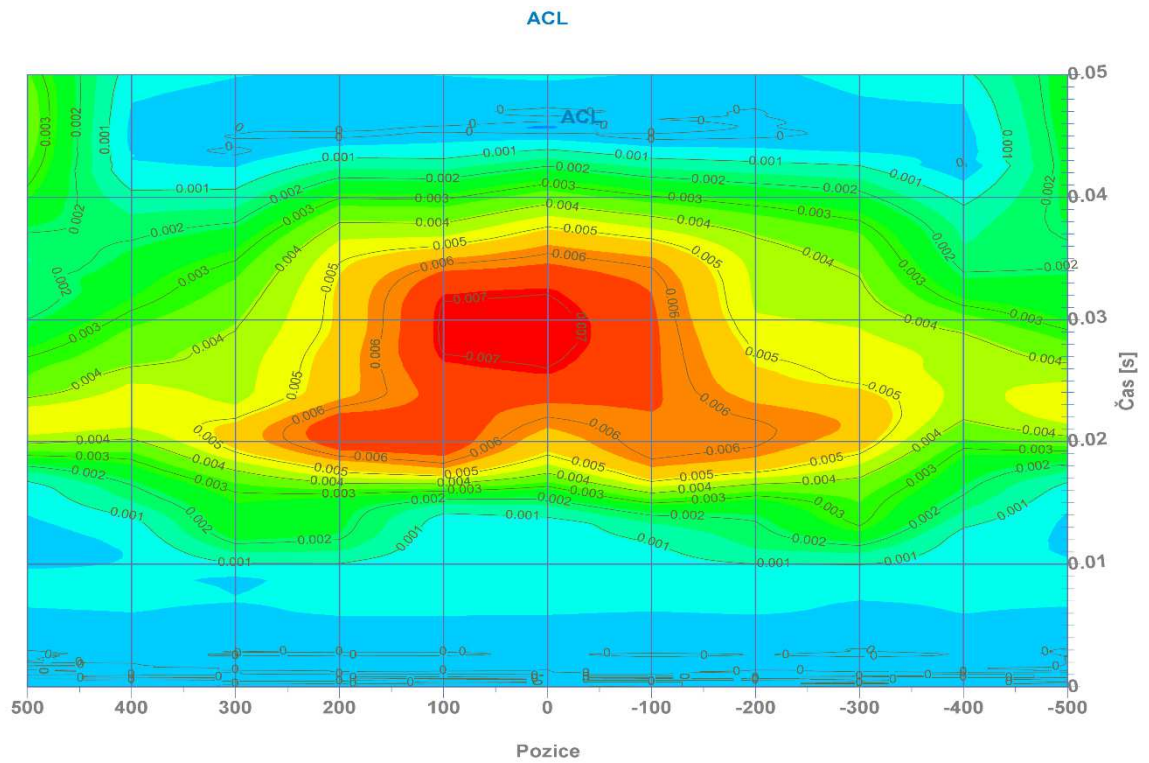
Obr. 146 Průběh signálů na snímači TiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

I průběh TiLo je podobný tendencemi (maxima v krajích na začátku, na středu později) průběhům na snímačích TiMiUp a TiMiLo, ale s mnohem menšími hodnotami. Zde se projevila vliv výšky automobilu, která je u vzorku A relativně velká (dolní opěrná rovina přibližně 290 mm nad vozovkou).

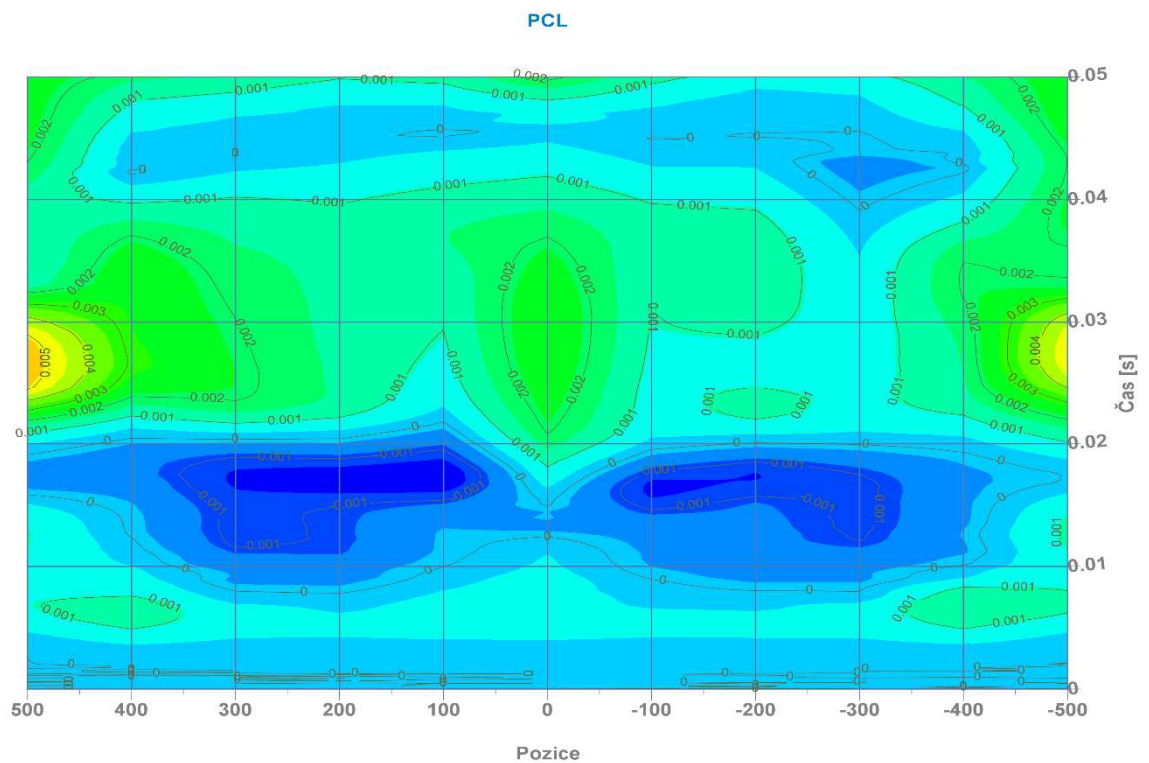
Z posledních tří grafů je vidět, že nabývají svých hodnot hned od začátku, tedy, že bod prvního dotyku byl ve spodní části nohy, resp. spodní části holeně.

Takto konstruované grafy dávají komplexnější informace o situaci během zkoušek napříč vozidlem.

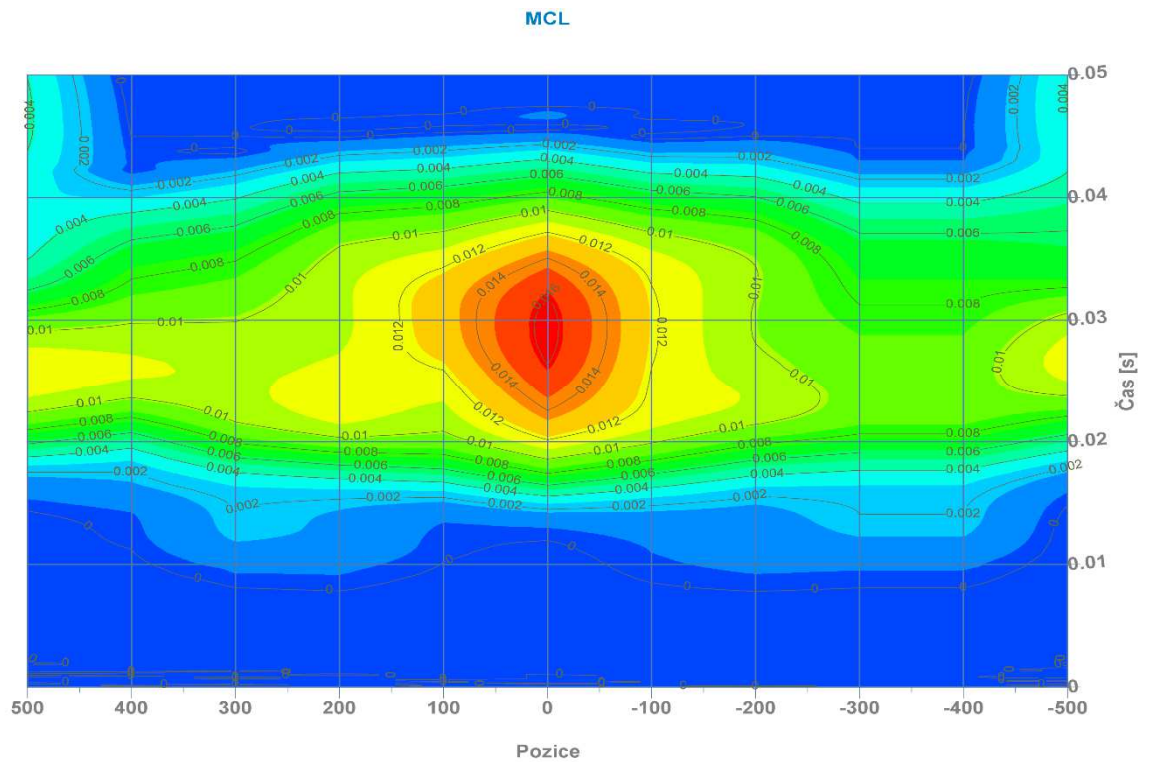
Když graf trochu pozměníme, vytvoříme izočáry (tzv. „vrstevnice“), dopomůžeme ještě barvou, jako tomu bylo dříve, situace se ještě více zpřehlední. Zde je vidět na které pozici, v kterou dobu a jakých nabývají hodnot měřené veličiny, navíc jsou mezi nimi napříč vozidlem ještě tendence, spojitosti. Potom takovou mapou hodnot pro konkrétní snímač získáváme zřejmě nejkomplexnější popis situace.



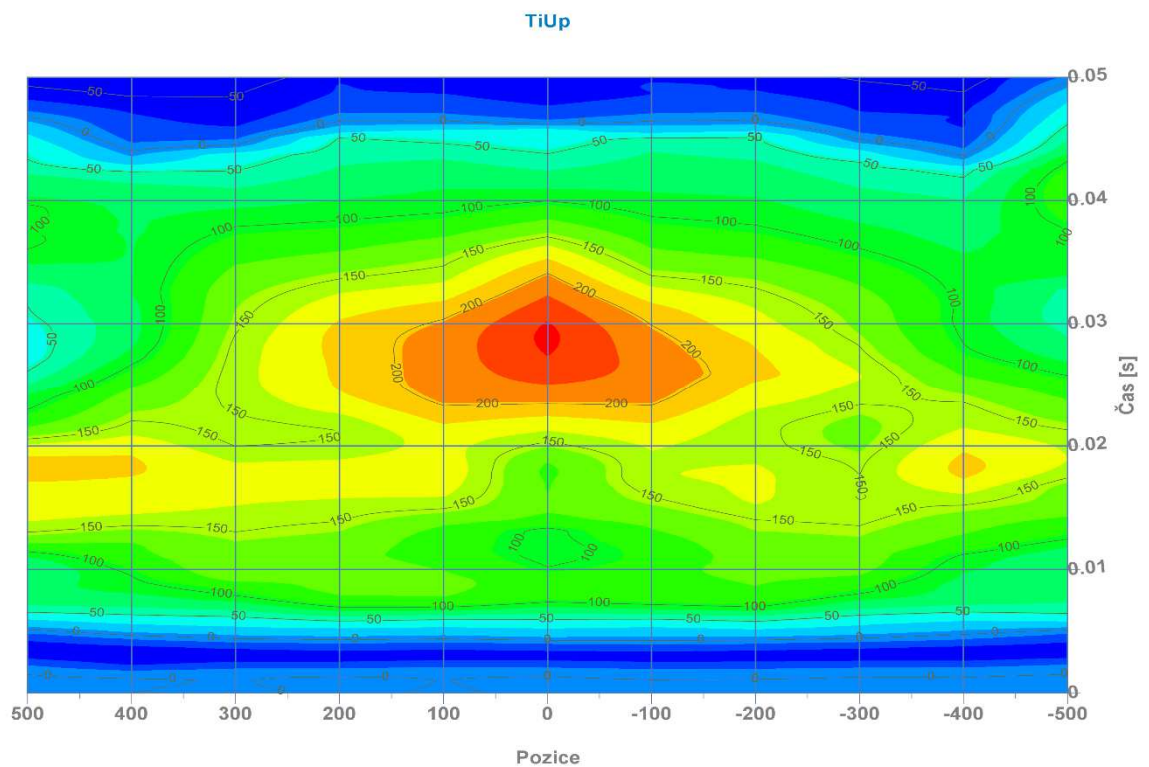
Obr. 147 Průběh signálů na snímači ACL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21



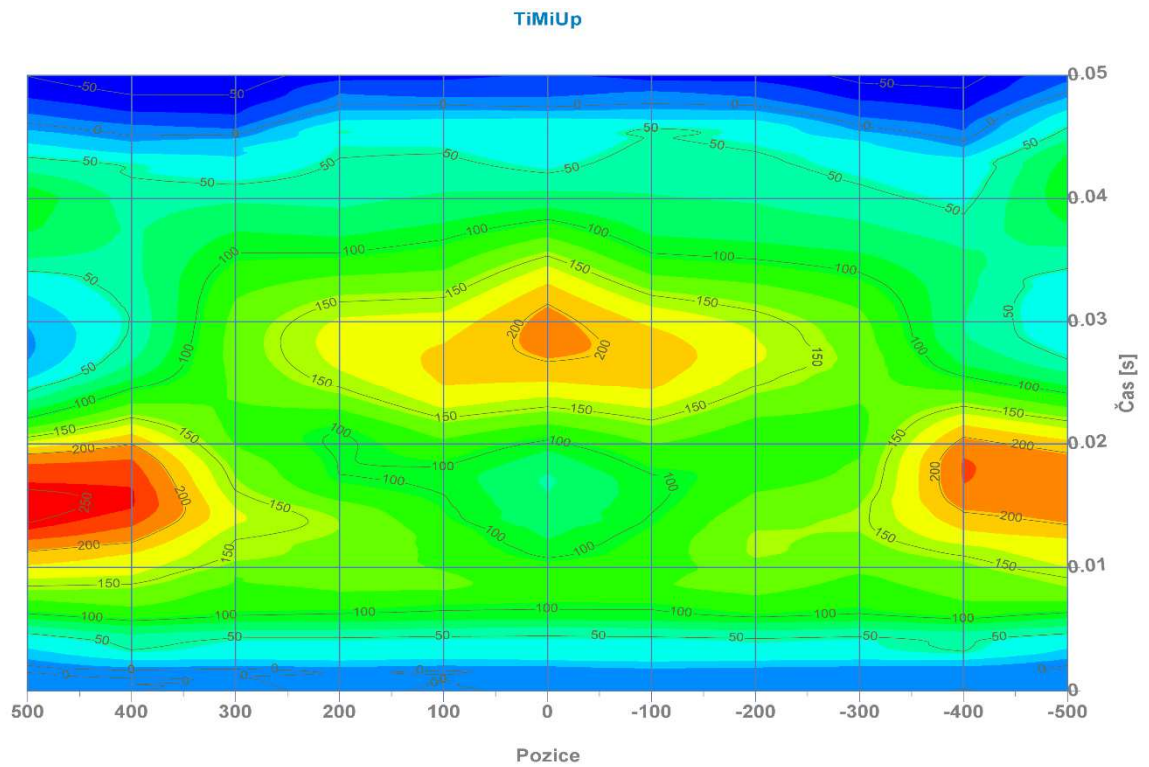
Obr. 148 Průběh signálů na snímači PCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21



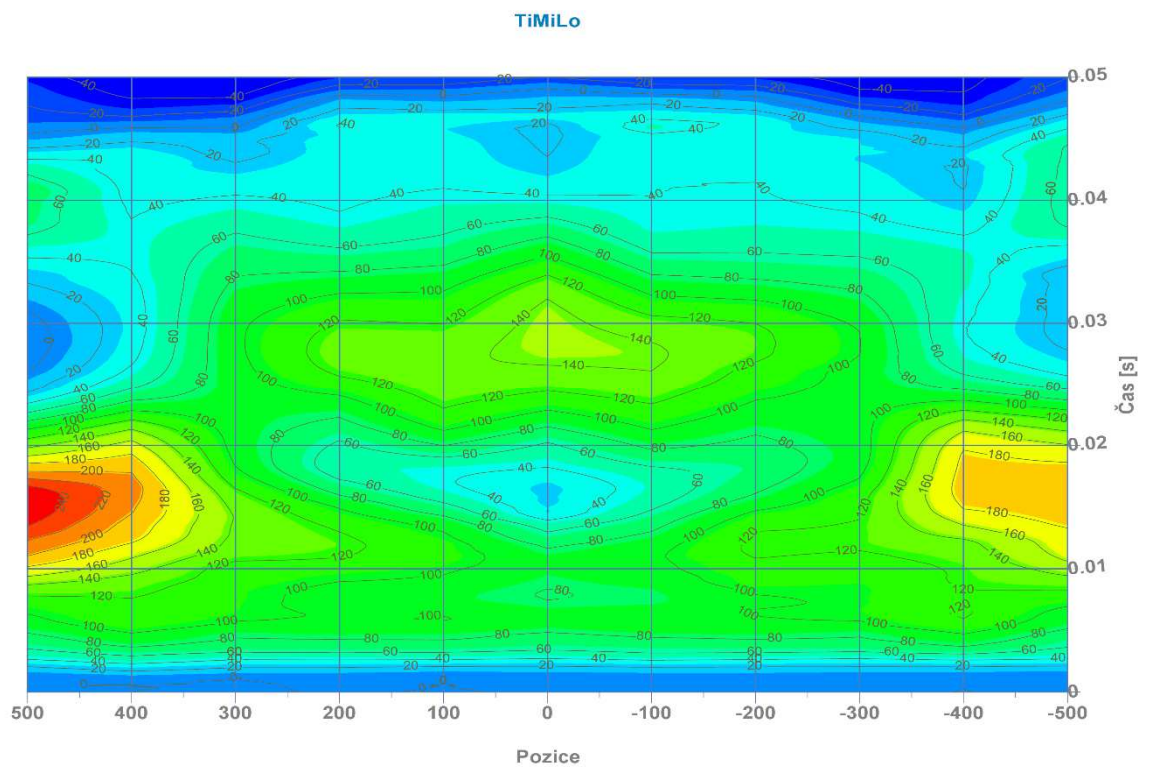
Obr. 149 Průběh signálů na snímači MCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21



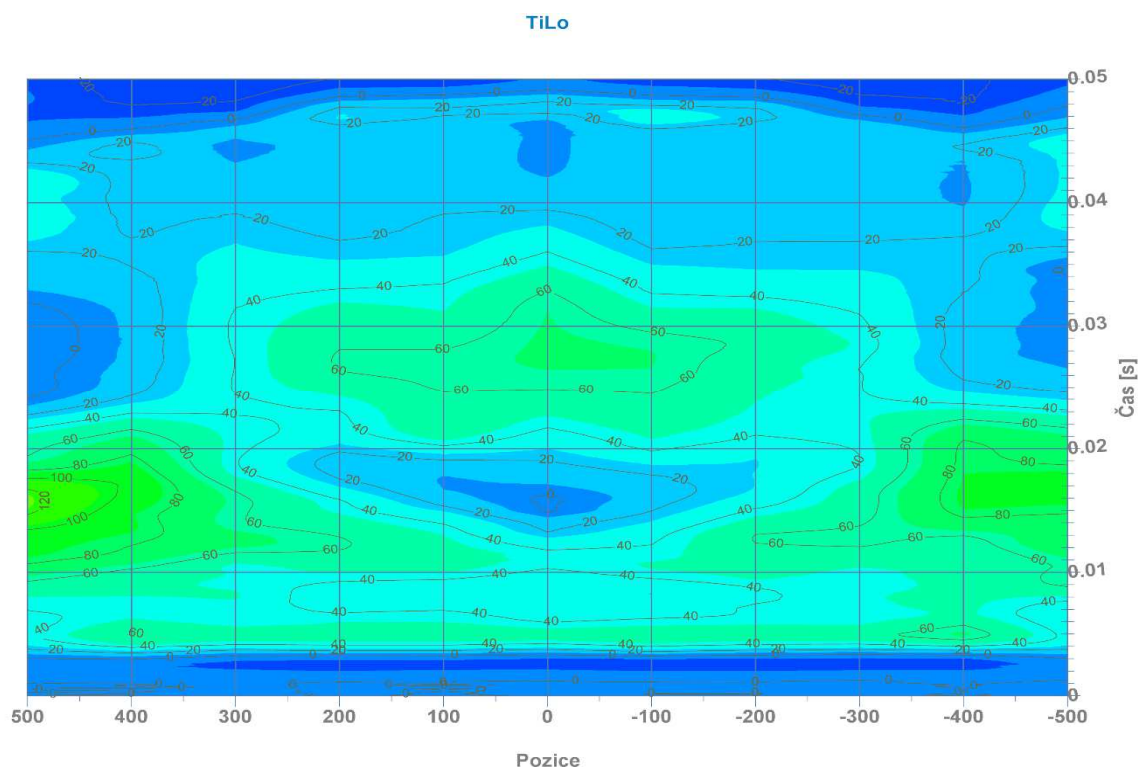
Obr. 150 Průběh signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21



Obr. 151 Průběh signálů na snímači TiMiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21



Obr. 152 Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21



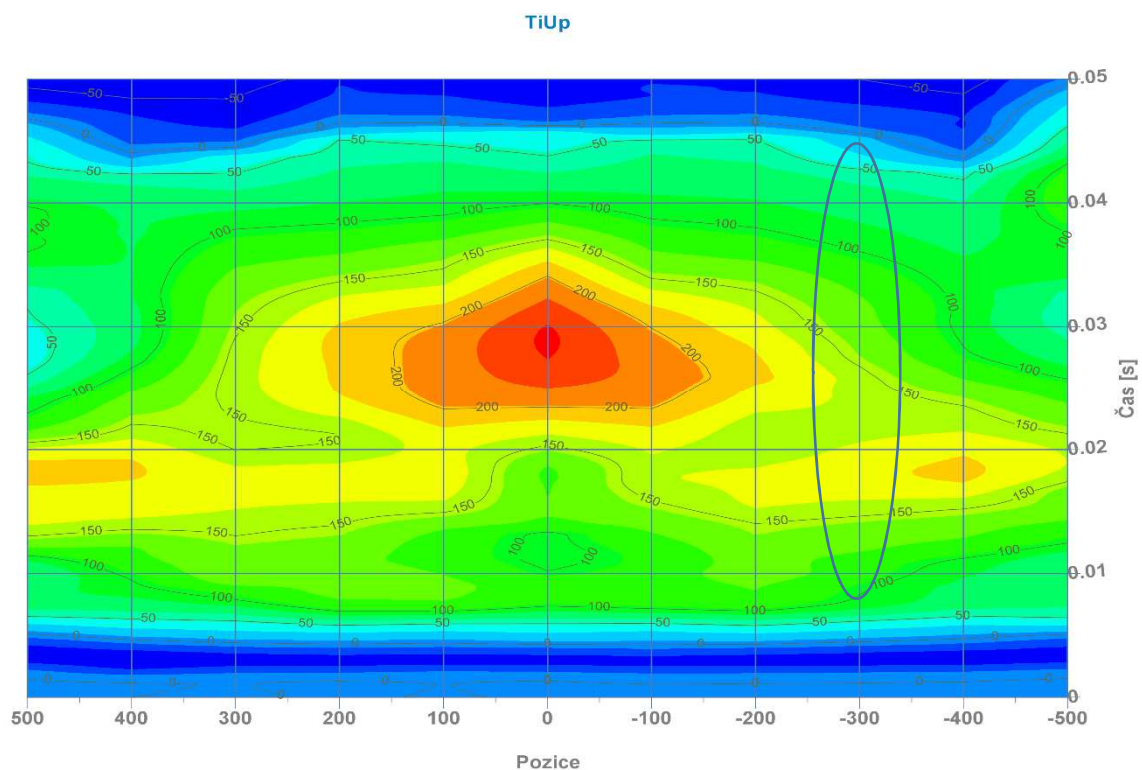
Obr. 153 Průběh signálů na snímači TiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Na grafech signálů z tenzometrů holeně (hlavně TiMiUp) je velmi dobře vidět, že maxima signálů jsou dosahována v různý čas, za jiných podmínek. Vycházet tedy v tomto případě pouze z jednoho čísla, tedy maximální hodnoty, při odhadu výsledku z okolních pozic je nevhodné.

14.5.1. Predikce průběhu zkoušky

Podobně, jako jsou možnosti u predikce z okolních hodnot na maximech, lze i zde učinit odhad výsledku. Již se ale nebere v potaz pouze jedna hodnota z každé pozice, ale celá křivka. Úmyslem takové predikce je relativně jednoduchý odhad výsledku na konkrétní pozici, např. kvůli neudělané zkoušce z důvodu nedostatku dílů. Nejjednodušším řešením je grafické řešení, v podstatě mapa hodnot, které vznikly proložením křivek plochou. Je možné si např. představit, že u grafů s vrstevnicemi, které jsou zmíněny výše, lze usoudit na přibližný průběh signálu na pozicích 250, 350...

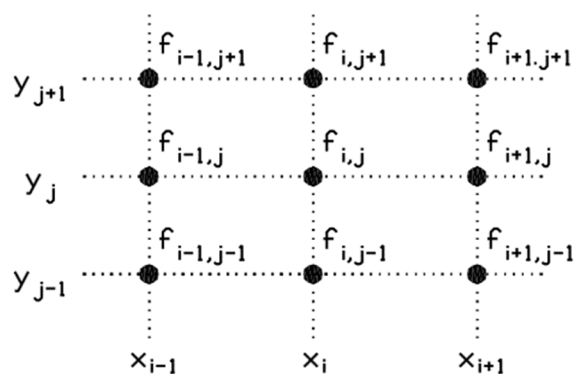
Pro výše řešenou pozici -300 je z následujícího grafu patrný rozdíl.



Obr. 154 Průběh signálů na snímači TiLo při vynechání pozice -300, vzorek A, smyčka 16_21, pouze graficky, bez možnosti získání matematického popisu celého průběhu

Ovšem toto odečítání z mapy hodnot je opravdu spíše odhadem. Lepší variantou je matematické řešení.

Když byl řešen odhad za pomoci sousedních pozic s použitím maximálních hodnot, bylo to hledání funkce jedné proměnné. Zde, snažíme-li se zabývat chováním impaktoru během celého nárazu a na různých pozicích, pracujeme s maticí hodnot (dvojměrnou).



Obr. 155, Vstupní hodnoty dvojměrné interpolace (39)

Pokud budeme dle (39) předpokládat, že máme zadány hodnoty $f_{i,j}$ pro body $[x_i, y_j]$, v našem případě je to čas a zkoušená pozice, analogií pro nejjednodušší, lineární, interpolaci bude interpolace na obdélnících. Zde je obecný tvar dvojrozměrné lineární funkce

$$g(x,y) = a + bx + cy \quad \text{R. 15}$$

kde a, b, c jsou libovolné konstanty. Když se pokusíme takovou funkci použít k proložení čtyř bodů obdélníku, nelze to, neboť jsou zde tři proměnné a čtyři podmínky (lineární funkce jako rovina je zadána třemi body namísto čtyř). Proto je potřeba použít obecnější funkci s nastavitelnými čtyřmi parametry. Používá se tzv. bilineární funkce s obecným tvarem

$$g(x,y) = a + bx + cy + dxy \quad \text{R. 16}$$

kde opět a, b, c, d jsou libovolné konstanty. Tyto konstanty nejsou dle (39) většinou určovány, ale používá se postup bipolární interpolace.

Je to tedy interpolace na obdélníku $x \in \langle x_i, x_{i+1} \rangle$, $y \in \langle y_j, y_{j+1} \rangle$. Lineární transformací lze dosáhnout nových proměnných u a v tak, aby na daném obdélníku nabývaly hodnot z intervalu

$u \in \langle 0,1 \rangle$ a $v \in \langle 0,1 \rangle$. Tato transformace je

$$u = \frac{x-x_i}{x_{i+1}-x_i} \quad v = \frac{y-y_j}{y_{j+1}-y_j} \quad \text{R. 17}$$

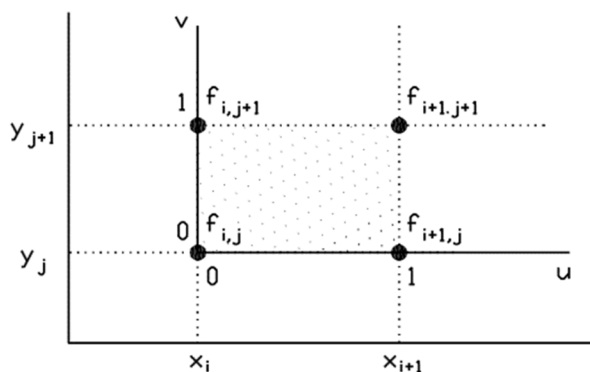
Bilineární transformace může být v těchto proměnných přímo vyjádřena

$$g(u, v) = (1-u)(1-v)f_{i,j} + u(1-v)f_{i+1,j} + uv f_{i+1,j+1} + (1-u)v f_{i,j+1} \quad \text{R. 18}$$

což odpovídá tvaru rovnice $g(x,y)$. Dosazením souřadnic rohů obdélníka $[u,v] = [0,0], [0,1], [1,0], [1,1]$ se lze přesvědčit, se lze také přesvědčit, že v těchto rozích nabývá zadaných hodnot $f_{i,j}$. Vzorec $g(u,v)$ lze také napsat

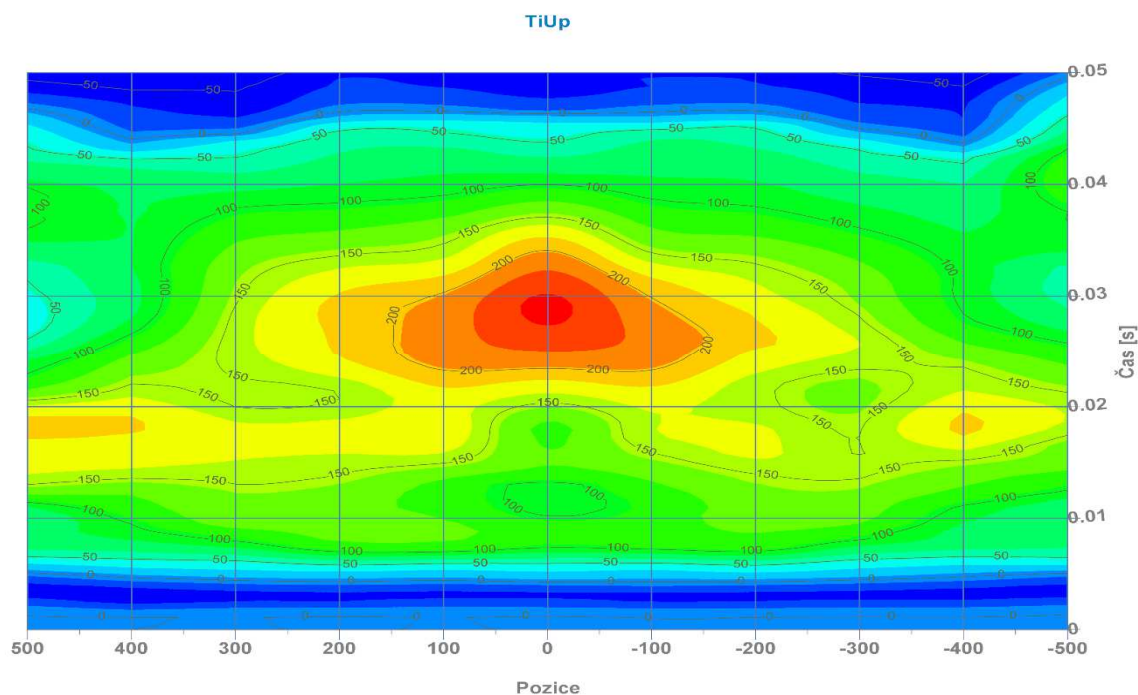
$$g(u, v) = (1-u)[(1-v)f_{i,j} + v f_{i,j+1}] + u[(1-v)f_{i+1,j} + v f_{i+1,j+1}] \quad \text{R. 19}$$

Výrazy, které jsou uvnitř hranatých závorek představují lineární interpolaci v proměnné y , celkový výraz je potom interpolace v proměnné x .



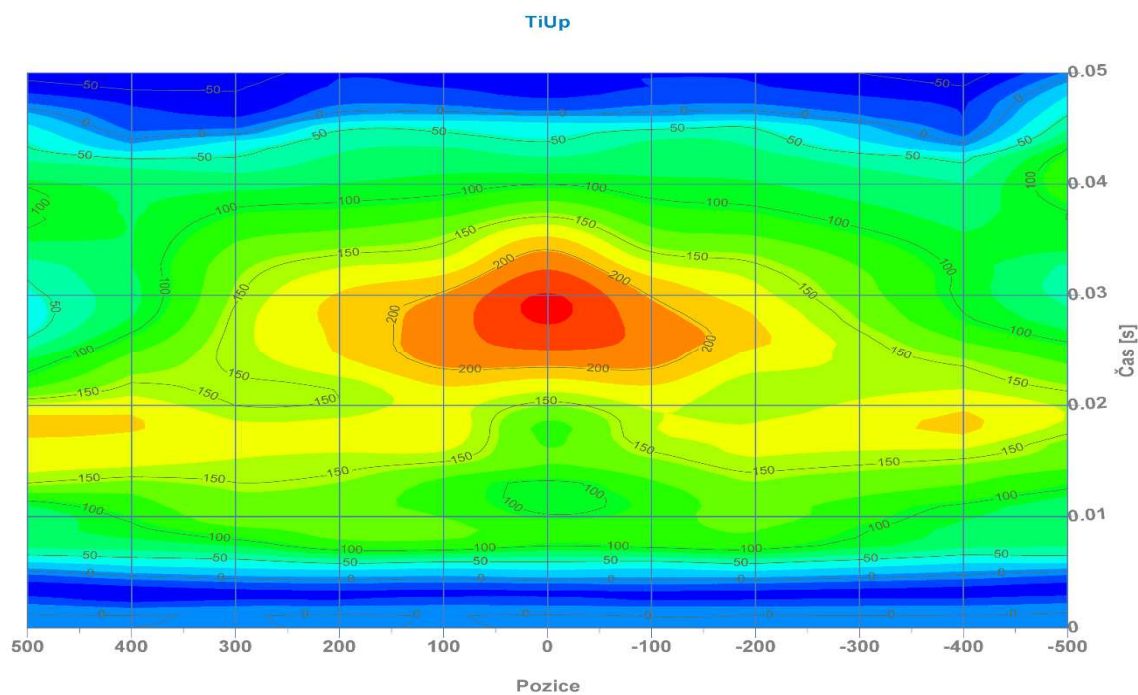
Obr. 156 Bilineární interpolace (39)

V softwaru Diadem, v kterém je tato práce řešena a odkud pochází i většina výše uvedených grafů, byla provedena interpolace přes všechny křivky TiUp, včetně pozice 300. Při rozlišení 1000 bodů vychází velmi dobrý opis naměřených dat.



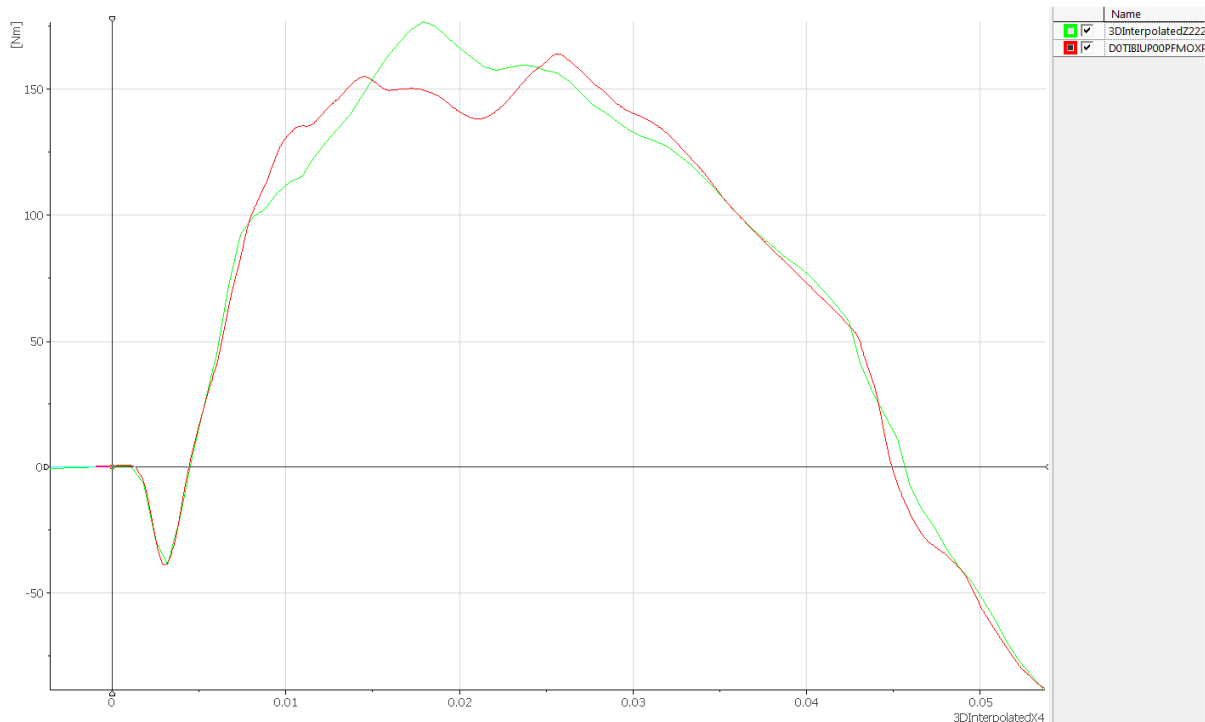
Obr. 157 Interpolace signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21

Pokud není započítána křivka z pozice -300 (jakoby neprovedena), mapa hodnot se samozřejmě změní.



Obr. 158 Interpolace signálů na snímači TiUp, při vynechání pozice -300, vzorek A, smyčka 16_21

Ačkoli je zřetelné, že se průběh signálu na celé mapě hodnot změnil, výsledkem na konkrétní pozici je relativně dobrá shoda. Nejen že jsou porovnatelné extrémy naměřeného a vypočteného signálu, ale i průběh je ve velmi dobré shodě.



Obr. 159 Křivky naměřeného (červeně) a vypočteného (zeleně) signálu na snímači TiUp na pozici - 300, vzorek A, smyčka 16_21

Největší výhodou tohoto odhadu měřených hodnot je právě získání konkrétního popisu celého průběhu. Samozřejmě, čím více zkoušek dané smyčky je hotovo, tedy čím více je vstupních hodnot, tím je predikce přesnější.

14.6. Shrnutí

Bylo provedeno množství testů, typově se dají rozdělit na různé koncepce. Koncept malého SUV je zde reprezentován např. vzorkem A. Koncept vozidla typu limuzína označen jako vzorek B. Jejich na první pohled znatelný rozdíl, z hlediska zkoušek impaktorem nohy je v jejich ustavení, resp. výšce nad zemí a výšce nárazníku. Typ limuzína je níže položen a nižší, impaktor je tím jakoby více podrážen. Ovšem záleží na vnitřní konstrukci nárazníku. Typ nárazníku malé SUV je výše položen a vyšší, pro impaktor nohy by měl tedy vycházet přijatelněji, neměla by se tolik ohýbat. Není tomu ovšem tak ve všech případech. A opět samozřejmě záleží na konstrukci zejména krytu nárazníku a struktury pod ním.

Na zkouškách je znatelný vliv krajů zóny, který může způsobovat rotace či sklouznutí impaktoru, ale také nižší nárazník. Obecně lze říci, že je to spíše výsledkově nestabilní oblast. Velmi výraznou částí zóny je středová pozice, obvykle obsahuje konstrukční prvky, které jsou výsledkově důležité. Tuhá oka zámek v kapotě, otevírání kapoty či např. radar adaptivního tempomatu odlišují zkoušky na pozici Y0

(nebo v její těsné blízkosti) od zbytku zóny. Pozice mezi středem a krajem jsou obvykle 100, 200, 300, někdy i 400 mm vzdálené od podélné svislé roviny automobilu. Mezi nimi je většinou možné, z globálního pohledu na celou zónu, sledovat relativně plynulou „spojitost“.

Důležitou informací plynoucí z globálního pohledu na naměřené signály je umožněný popis nárazu impaktoru. Porovnatelnost maxim z různých zkoušek může být jen zdánlivá (samozřejmě v první řadě je důležité kritérium splnění cíle, nepřesáhnutí limitu homologace, příp. bodového ohodnocení EuroNCAP). Maximum může být totiž dosaženo v různou dobu průběhu nárazu a mohlo by se např. stát, že by se porovnávala hodnota z dopadu nárazníku, borcení struktury, lomových linií a podobně s ohýbáním impaktoru v době, kdy už se měřené místo v daném okamžiku nárazníku nedotýká.

15. Závěr

Na začátku této práce byl proveden velmi krátký vhled do historie pasivní bezpečnosti, ochrany chodců a jejího vlivu na konstrukci, případně design dnešních automobilů. Jelikož je celé téma práce navázáno na konkrétní podmínky testů, byl zde uveden proces běžné praxe od přijetí vozidla přes zjednodušený popis rozměrování zkušebních zón až po vlastní proces testu. Zmíněny byly i doprovodné činnosti zkoušky a odevzdávání dat, tak aby byly informace ucelené.

V praktické části byly porovnány výsledky testů na několika zkoušených vzorcích a na konkrétních případech podrobně vysvětleno chování impaktoru. Zohledněny byly konstrukční podmínky, tedy např. přítomnost ocelových svislých nosníků, které významně ztužují místo nárazu, střední pozice s vlivem tužších prvků typu radar tempomatu, ale i měkčích, např. vzdálenost od svislých nosníků.

K popisu byl zvolen klasický přístup přes maximální hodnoty i komplexní s ohledem na vysokorychlostní video, signály pro konkrétní zkoušku mezi sebou (např. tenzometry na holeni spolu velmi pěkně sedí a spojitě po kosti popisují náraz holeně do spodní části nárazníku) i signály přes pozice, tedy napříč zónou. Takto souhrnně podaná informace o chování impaktoru podává ucelený popis děje. Např. bylo poukázáno na fakt, že na některých testech dochází k maximům signálu, i když už měřící snímač není v kontaktu s nárazníkem! Predikovat výsledky v takových oblastech může být zavádějící. Problematika zkoušek ochrany chodců se samozřejmě řeší i pomocí FEM analýzy, ale stále ještě nedosahuje požadované shody s testy. Je to dáno složitostí děje jako celku, několika materiály s různými vlastnostmi i např. spasováním dílů automobilu. Zkoušky jsou drahé nejen jako takové, ale i co se týče použitých, někdy prototypových dílů. Jedním z výsledků práce je navržená metodika pro postup zjednodušeného odhadu výsledku. Z maximálních hodnot i komplexně pojatých signálů byly navrženy jednoduché odhady výsledků pro případ, kdy je např. nedostatek prototypových dílů. Interpolací na celých křivkách signálů se můžeme pokusit predikovat nejen výsledek jednoho čísla, maxima, ale i celý průběh zkoušky pro konkrétní pozici. Samozřejmě, čím více je provedeno zkoušek, tím snáz se odhaduje výsledek zbývajících. Cílem dalších výzkumů by v této oblasti mohly být další možnosti predikce výsledků, ale hlavně důkladný popis impaktoru, který by měl v brzké době následovat, tedy impaktor Flex PLI s přidanou hmotou. Ať již bude zvolen jakýkoli směr (s pevnou hmotou, s kyvnou), jistě zde mnoho témat ke zkoumání.

Seznam obrázků

Obr. 1 John O ´Leray již v roce 1908 navrhl jednoduché zařízení se sítí pro ochranu chodců (1).....	10
Obr. 2 Vystřelovací konstrukce na prototypu ADO 16 Austin/Morris 1300 (British Leyland) z roku 1974 (2)	11
Obr. 3 Podíl chodců na úmrtnosti při dopravních nehodách, srovnání států (4).....	12
Obr. 4 Plán WHO na snížení počtu usmrcených na světových silnicích, s a bez implementace „Action for Road Safety 2011 – 2020“ (6)	12
Obr. 5 Četnost poranění 293 chodců (100%) při srážce s automobilem a poté na vozovku (7) Velké množství poraněných má poraněno více oblastí těla.	13
Obr. 6 Padding, absorbér nárazu zejména nohy (příp. nárazu vozidla při malých rychlostech, tzv. RCAR), vyrobený z EPP (9)	15
Obr. 7 Škoda Kodiaq s naznačenými deformačními prvky. Fialově, červeně a žlutě označena výztuha nárazníku se svislými nosníky a modrou podpůrnou rovinou kvůli zkouškám ochrany chodců. Mezi žlutou přední částí výztuhy a plastovým vnějším krytem nárazníku je možné vidět pěnový padding (10)	15
Obr. 8 Příklad výstřelu aktivní kapoty, vlevo test výstřelu, vpravo po testu impaktorem dětské hlavy (11)	16
Obr. 9 Výrazné rohy nárazníku definují šířku zóny nárazu nohou (12).....	17
Obr. 10 Rozměřovací kříž pro rozměřování zkušebních zón	18
Obr. 11 Rozměřovací kříž pro rozměřování zkušebních zón připevněný na zkušebním stroji, s břitem v podobě ocelové struny	19
Obr. 12 Tvorba boční vztažné linie kapoty (14).....	19
Obr. 13 Rozměřování boční vztažné linie (BSRL) paralelogramem s lineárním vedením Merlin v laboratoři BGS v bast (Bundesanstalt für Straßenwesen, Spolkový dálniční úřad) v Německu (15)..	20
Obr. 14 Rozměřování boční vztažné linie (BSRL) pomocí stroje na vrhání impaktorů (BIA France) s připevněným rozměřovacím křížem. Vpravo detail značení linie do křídového spreje.....	20
Obr. 15 Tvorba vztažné linie náběžné hrany kapoty (BLERL) (14).....	21
Obr. 16 Tvorba vztažné linie náběžné hrany kapoty (BLERL) pomocí rozměřovacího kříže	21
Obr. 17 Roh kapoty (Corner reference Point, CRP) (14).....	22
Obr. 18 Vztažný bod kapoty (CRP) rozměřen na reálném vzorku, na spojnici BLERL (modrá) a BSRL (červená). Níže přenesen na WAD 775 (fialová)	22
Obr. 19 Tvorba dolní vztažné čáry nárazníku (LBRL) (14).....	23
Obr. 20 Tvorba zadní vztažné hrany kapoty (14).....	23
Obr. 21 Šablona zadní hrany kapoty a prodloužení (14)	24
Obr. 22 Tvorba linií WAD (14)	24
Obr. 23 Pomůcka pro rozměřování linií WAD	25
Obr. 24 Zóny podle předpisu Euro NCAP v. 8.3 (14)	26
Obr. 25 Rozměřování zón paralelogramem s lineárním vedením Merlin v laboratoři BGS v bast (Bundesanstalt für Straßenwesen, Spolkový dálniční úřad) v Německu. Na kapotě a skle je vidět porovnání ENCAP rozměření vpravo starším způsobem a „gridem“ s rozstupem 100 mm po celé kapotě (15)	26

Obr. 26 Rozměření rohu nárazníku „nekonečnou“ rovinou skloněnou pod 60° od podélné roviny automobilu (14).....	27
Obr. 27 Průhledná deska reprezentující část roviny pro rozměřování rohu nárazníku. Vpravo detail dotyku desky s nárazníkem, nalezení rohu nárazníku.....	27
Obr. 28 Rozměřovací destička pro určení rohu nárazníku dle ECE 127.02 (13).....	28
Obr. 29 Rozměřování rohu nárazníku destičkou podle ECE 127.02 umístěnou na lineárním rozměřovacím kříži	29
Obr. 30 Impaktor dětské hlavy AC35.....	30
Obr. 31 Impaktor dospělé hlavy AD45	30
Obr. 32 Impaktor ULEG s rolnami pro vedení impaktoru. Tělo impaktoru se skládá z ocelové „kosti“, modré pěnové „svaloviny“ a černé pryžové „kůže“	31
Obr. 33 Impaktor LLEG (TRL) na vrhači.....	32
Obr. 34 Ocelové ligamenty z kolena LLEG TRL, vlevo nové, vpravo použité	33
Obr. 35 Schéma impaktoru LLEG s dvěma tuhými částmi, (22)	34
Obr. 36 Dovolené odchylky impaktoru TRL LLEG před nárazem, (22)	35
Obr. 37 Schéma vrhání impaktoru LLEG 25 mm nad vztažnou úroveň vozovky, (22).....	35
Obr. 38 Příklad testu impaktorem staršího impaktoru nohy LLEG (TRL) (23)	36
Obr. 39 Popis poranění nohy pomocí impaktoru TRL LLEG a Flex PLI. Starší typ popisoval poničení vazů a zlomeninu od hrany nárazníku. Novější, Flex PLI kromě toho zlomeniny nohy i mimo hranu nárazníku. (24) Pozn. součet procent autorům nedává 100% zřejmě kvůli zaokrouhlování.....	37
Obr. 40 Porovnání chování impaktoru TRL LLEG a Flex PLI při nárazu (25)	37
Obr. 41 Oblasti zranění chodců, výzkum vedoucí k vývoji Flex PLI (26).....	38
Obr. 42 Systém kolenních vazů na impaktoru Flex PLI 2002 (27)	39
Obr. 43 Stehenní a holenní část impaktoru Flex PLI 2002 je již ohebná a zároveň je možné tento ohyb měřit (27).....	39
Obr. 44 Model impaktoru Flex PLI s přidanou hmotou na horním konci (29)	40
Obr. 45 Model impaktoru Flex PLI s přidanou hmotou na horním konci v porovnání s vozidlem (30)	41
Obr. 46 Model impaktoru Flex PLI s přidanou pohyblivou hmotou na horním konci (31)	41
Obr. 47 Rozměry a těžiště stehna, kolene a holeně dle předpisu ECE 127.01 (16).....	42
Obr. 48, Schématické znázornění stehna, tibie a kolena s rozměry dle homologačního předpisu ECE 127.01 (16).....	42
Obr. 49 Rozmístění snímačů na impaktoru Flex PLI, dle homologačního předpisu ECE 127.01, (16), výrobce pro vývojové testy dokáže impaktor osadit až 44mi snímači.....	43
Obr. 50 Rozpad stehenní části impaktoru (32).....	44
Obr. 51 Stehenní část z přední, nárazové strany s naznačeným umístěním snímačů	45
Obr. 52 Rozpad kolenní části impaktoru	45
Obr. 53 Popis lidského kolene jako předlohy pro impaktor (33)	46
Obr. 54 Kolenní část impaktoru.....	46
Obr. 55 Rozpad holenní části impaktoru.....	47
Obr. 56 Holenní část impaktoru s naznačenými polohami tenzometrů	47
Obr. 57 Přehled umístění tenzometrů na holení a stehenní části (34)	48

Obr. 58 Impaktor Flex PLI, verze s „onboard“ záznamem dat	48
Obr. 59 Impaktor Flex PLI s odepnutými pryžovými a neoprenovými částmi.....	49
Obr. 60 Nastavení statické certifikace stehenní části impaktoru (16)	50
Obr. 61 Koncovka kosti pro statickou certifikaci	50
Obr. 62 Příklad zatěžovací křivky statické certifikace stehenní části s naznačenými koridory	51
Obr. 63 Nastavení statické certifikace holenní části impaktoru (16)	52
Obr. 64 Příklad zatěžovací křivky statické certifikace holenní části s naznačenými koridory	52
Obr. 65 Nastavení statické certifikace kolenní části impaktoru (16).....	53
Obr. 66 Kolenní část impaktoru připravená ke statické certifikaci	53
Obr. 67 Příklad křivky certifikace kolene, konkrétně potenciometr MCL, včetně koridorů.....	54
Obr. 68 Příklad křivky certifikace kolene, potenciometry ACL a PCL, včetně koridorů.....	54
Obr. 69 Dotažení šroubů kolena (32)	55
Obr. 70 Kontrola délky lan se provádí pomocí speciální „měrky“. Pro stehenní lana je to 9,1 mm, pro holenní 10,3 mm.	56
Obr. 71 Schéma kyvadlové certifikace impaktoru Flex PLI s naznačenými rozměry a přídavným závažím (32)	56
Obr. 72 Závaží (5 kg) na konci stehenní části impaktoru, připravené pro kyvadlovou certifikaci.....	57
Obr. 73 Impaktor při pendulum certifikaci, zavěšený za holeň, se závažím na stehenní části	57
Obr. 74 Příklad signálů z tenzometrů holeně při pendulum certifikaci, čas zatěžování je relativně dlouhý, delší než je na běžném testu do automobilu	58
Obr. 75 Příklad signálů z potenciometrů v koleně při pendulum certifikaci	59
Obr. 76 Schématický náčrt inverzní certifikace. Flex PLI impaktor je zavěšen a naráží do něj vozík s voštinou (16).....	59
Obr. 77 Hliníková voština (honeycomb) nová a použitá, po inverzní certifikaci.....	60
Obr. 78 Detail zavěšení impaktoru na odklopném háčku, je doporučeno závěsnou kostku o 15° naklonit dopředu. Impaktor pak dobře drží na háčku než do něj dorazí vozík a pak snadno sklouzne. (32)	61
Obr. 79 Naznačení dopadu nárazového vozíku s voštinou do visícího impaktoru. Na vedení vozíku jsou dorazy s hydraulickými tlumiči nárazu, které o nárazu do impaktoru zastaví vozík. K ovlivnění certifikace nedojde.....	61
Obr. 80 Příklad signálů z tenzometrů v holeni při inverzní certifikaci, doba testu je kratší než na pendulum certifikaci, přibližně odpovídá testu na vozidle	62
Obr. 81 Příklad signálů z potenciometrů v koleně při inverzní certifikaci.....	62
Obr. 82 Vývoj certifikací nějakou dobu počítal i s impaktorem bez obložení po celé délce, byly prováděny experimenty se změnou hmotností i polohou těžiště (35)	63
Obr. 83 Porovnání nárazu do vozidla, inverzní a kyvadlové certifikace (35).....	63
Obr. 84 Porovnání snímačů stehna na inverzní certifikaci - původní kost x nová v externí laboratoři v Německu x nová v laboratoři AUREL CZ	64
Obr. 85 Porovnání snímačů kolena na inverzní certifikaci - původní kost x nová v externí laboratoři v Německu x nová v laboratoři AUREL CZ	64
Obr. 86 Porovnání snímačů holeně na inverzní certifikaci - původní kost x nová v externí laboratoři v Německu x nová v laboratoři AUREL CZ	65

Obr. 87 Signály potenciometrů při testech do zkušební stolice, ACL (žlutě), PCL (zeleně), MCL (červeně), LCL (modře)	66
Obr. 88 Signály tenzometrů holeně při testech do zkušební stolice, TiUp (červeně), TiMiUp (zeleně), TiMiLo (žlutě), TiLo (modře)	66
Obr. 89 Signály tenzometrů stehna při testech do zkušební stolice, FeUp (červeně), FeMi (zeleně), FeLo (modře).....	67
Obr. 90 Vrhač s pověšeným impaktorem Flex PLI (zde pro názornost) bez neoprenové a gumové „svaloviny“	68
Obr. 91 Výška letu impaktoru nohy při testu do automobilu (vlevo) a vzorku přední části automobilu (vpravo) dle homologačního předpisu (16).....	69
Obr. 92 Laserová brána, typ s dvěma diodami, určená pro zkoušky ochrany chodců.....	69
Obr. 93 Terčíky na impaktoru použité pro zjištění přesnosti zásahu	70
Obr. 94 Kompenzace klesání při vodorovném střelení (14)	72
Obr. 95 Balistická korekce (14).....	72
Obr. 96 Příklad deformace kapoty s naznačenými ohyby	74
Obr. 97 Příklad deformace pěnového paddingu	74
Obr. 98 Automatická ochranná vrátka, zkušebna Aurel CZ, stroj BIA	75
Obr. 99 Kamery použité pro sledování pohybu světlometu, měření 3D fotogrammetrií.....	76
Obr. 100 Kamera IDT N4S3 s objektivem s malou ohniskovou vzdáleností vhodná na interní záběry. 77	
Obr. 101 Příprava pro tažné oko může mít teoreticky vliv na výsledek zkoušky	82
Obr. 102 Příklad vozidla s paddingem na výztuze nárazníku, svislými nosíky a ocelovou spodní opěrnou rovinou.....	86
Obr. 103 Vzájemná poloha výrazných částí konstrukce vozidla s tuhou ocelovou spodní opěrnou rovinou a snímačů na impaktoru, modelově odpovídající vzorku A a A'	87
Obr. 104 Vzájemná poloha výrazných částí konstrukce vozidla s měkčí spodní opěrnou rovinou a snímačů na impaktoru, modelově odpovídající vzorku B.....	87
Obr. 105 Impaktor přibližně 5 ms před dopadem.....	98
Obr. 106 Dopad impaktoru, tzv. časová nula	98
Obr. 107 Čas 10 ms po dopadu, stehenní kost se ohýbá dozadu; koleno je téměř rovné, nejnižší části holeně jsou ohýbány přes spodní část nárazníku.....	99
Obr. 108 Čas 10 ms po dopadu, potenciometr v koleně ACL mírně narostl a zůstává přibližně na stejné hodnotě; PCL, MCL nabývají nízkých hodnot, LCL na straně nárazu je již za svým maximem; vzorek B, test 14_32_008.....	99
Obr. 109 Čas 10 ms po dopadu, stehenní tenzometry jsou v záporných hodnotách, kost se ohýbá dozadu; holeň se ohýbá přes nárazník, nejnižší položené tenzometry na holeni TiLo, TiMiLo již dosáhly svého maxima; po nich krátce stoupají ostatní tenzometry na holeni; vzorek B, test 14_32_008	99
Obr. 110 Čas 15 ms, stehenní kost se narovná a dále přiklání k vozidlu; holeň se stále ohýbá na nárazníku, některý z holenních tenzometrů může dosáhnout maxima.....	100
Obr. 111 Čas 15 ms, potenciometr MCL, který je na odvrácené straně automobilu vykazuje rychlý nárůst hodnot, protože se koleno začíná více ohýbat; ACL stoupá na polovinu svého maxima	100

Obr. 112 Čas 15 ms, stehenní tenzometry narůstají (narovnává se kost - protínají nulu) a dále stoupají; na deformovaném nárazníku může některý z holenních tenzometrů, např. TiMiUp dosáhnout maxima.	100
Obr. 113 Čas 20 ms, stehno se více ohýbá na kapotu, kolenní část se výrazně ohýbá a jeho nenárazová strana se rozevívá; holenní kost se začíná narovnávat.....	101
Obr. 114 Čas 20 ms, potenciometry vykazují nárůst signálu, koleno se ohýbá, zejména MCL, protože se rozevívá nenárazová strana.....	101
Obr. 115 Čas 20 ms, stehno se více ohýbá na vozidlo, signály stehenních tenzometrů stoupají; signály tenzometrů na holeni klesají, protože se holenní část začíná narovnávat	101
Obr. 116 Čas 25 ms, stehenní kost je nejvíce ohnutá; stejně tak koleno; holeň se vlivem působení kolene a odrazem začíná opět ohýbat, odpoutává se od nárazníku.....	102
Obr. 117 Čas 25 ms, potenciometry v koleně dosáhly svého maxima (zejména je to zřetelné na MCL na nenárazové straně), koleno je nejvíce ohnuto.....	102
Obr. 118 Čas 25 ms, stehenní tenzometry vykazují maximální hodnoty, kost nejvíce ohnutá; tenzometry na holeni, poté, co se některé (spíše spodní, TiLo, TiMiLo) mohly dostat do záporných hodnot (holeň mírně prokmitla), opět rostou, ačkoli nejsou v kontaktu s nárazníkem, odrazem i tahem zbytku nohy.	102
Obr. 119 Čas 35 ms, stehenní kost se opět začíná narovnávat; koleno je stále velmi ohnuté, začíná se rovnat, přitahuje holeň, která se zároveň odráží od nárazníku	103
Obr. 120 Čas 35 ms, potenciometry v koleně vykazují mírný pokles, ještě stále jsou na vysokých hodnotách, koleno se začíná rovnat	103
Obr. 121 Čas 35 ms, stehenní tenzometry klesají, protože se tato část narovnává; tenzometry na holeni mohou dosahovat svého maxima i když už v podstatě nejsou v kontaktu s vozidlem, zejména horní, TiUp nebo TiMiUp, protože se holeň odrazila od nárazníku, zároveň se koleno se začalo vracet do původní polohy a holeň tak ohýbá.....	103
Obr. 122 Čas 45 ms, kost stehenní části se dál narovnává, i koleno a holeň se blíží k původnímu stavu	104
Obr. 123 Čas 45 ms, potenciometry míří k nule, koleno se narovnává.....	104
Obr. 124 Čas 45 ms, stehenní tenzometry míří k nulovým hodnotám, stehno se dál narovnává; tenzometry holeně jsou také velmi blízko nule, některé ji již protnuly	104
Obr. 125 Průběh signálů na snímači ACL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32	105
Obr. 126 Průběh signálů na snímači PCL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32.....	105
Obr. 127 Průběh signálů na snímači MCL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32	106
Obr. 128 Průběh signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32	106
Obr. 129 Průběh signálů na snímači TiMiUp přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32.....	107
Obr. 130 Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32.....	107
Obr. 131 Průběh signálů na snímači TiLo přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32.....	108
Obr. 132 Průběh signálů na snímači ACL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	108
Obr. 133 Průběh signálů na snímači PCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	109
Obr. 134 Průběh signálů na snímači MCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	109
Obr. 135 Průběh signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	110

Obr. 136	Průběh signálů na snímači TiMiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	110
Obr. 137	Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	111
Obr. 138	Průběh signálů na snímači TiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	111
Obr. 139	Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	112
Obr. 140	Průběh signálů na snímači ACL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	113
Obr. 141	Průběh signálů na snímači PCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	113
Obr. 142	Průběh signálů na snímači MCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	114
Obr. 143	Průběh signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	114
Obr. 144	Průběh signálů na snímači TiMiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	115
Obr. 145	Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	115
Obr. 146	Průběh signálů na snímači TiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	116
Obr. 147	Průběh signálů na snímači ACL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	117
Obr. 148	Průběh signálů na snímači PCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	117
Obr. 149	Průběh signálů na snímači MCL přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	118
Obr. 150	Průběh signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	118
Obr. 151	Průběh signálů na snímači TiMiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	119
Obr. 152	Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	119
Obr. 153	Průběh signálů na snímači TiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21.....	120
Obr. 154	Průběh signálů na snímači TiLo při vynechání pozice -300, vzorek A, smyčka 16_21, pouze graficky, bez možnosti získání matematického popisu celého průběhu.....	121
Obr. 155,	Vstupní hodnoty dvojrozměrné interpolace (39).....	121
Obr. 156	Bilineární interpolace (39)	122
Obr. 157	Interpolace signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 16_21	123
Obr. 158	Interpolace signálů na snímači TiUp, při vynechání pozice -300, vzorek A, smyčka 16_21	123
Obr. 159	Křivky naměřeného (červeně) a vypočteného (zeleně) signálu na snímači TiUp na pozici - 300, vzorek A, smyčka 16_21	124
Obr. 160	Průběh signálů na snímači ACL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32	137
Obr. 161	Průběh signálů na snímači PCL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32.....	137
Obr. 162	Průběh signálů na snímači MCL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32	138
Obr. 163	Průběh signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32	138
Obr. 164	Průběh signálů na snímači TiMiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 14_32.....	139
Obr. 165	Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 14_32	139
Obr. 166	Průběh signálů na snímači TiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 14_32.....	140

Seznam tabulek

Tabulka 1 Limity pro splnění kyvadlové certifikace (32)	58
Tabulka 2 Maxima signálů z testů na opakovatelnost.....	67
Tabulka 3 Souhrnný report smyčky testů s maximálními hodnotami na jednotlivých hodnocených snímačích, vzorek A, smyčka 16-21.....	81
Tabulka 4 Srovnané výsledky na vzorku A, smyčka zkoušek 16_21, podle zkoušené pozice.....	83
Tabulka 5 Srovnané podle zkoušené pozice a na rychlost „znormalizované“ výsledky na vzorku A, smyčka zkoušek 16_21	84
Tabulka 6 Výsledky srovnané, „znormalizované“, barevně seřazené od minima po maximum, vzorek A, smyčka 16_21.....	85
Tabulka 7 Výrazný vliv nulové pozice, naznačené ohýbání holeně, vzorek A, smyčka 16_21	86
Tabulka 8 Porovnání hodnot tenzometrů na jednotlivých zkoušených pozicích, vzorek A, smyčka 16_21	88
Tabulka 9 Podobně výrazný vliv nulové pozice a krajů zóny, vzorek A', (jiná výbava i ustavení vůči 16_21), smyčka 17_79.....	88
Tabulka 10 Porovnání hodnot tenzometrů na jednotlivých zkoušených pozicích, vzorek A', smyčka 17_79.....	89
Tabulka 11 Jiný koncept v přední části vozu se odráží na rozložení výsledků testů, vzorek B, smyčka 14_32.....	90
Tabulka 12 Porovnání tenzometrů na jednotlivých pozicích, vzorek B, smyčka 14_32, vyznačen možný vliv nepřesnosti zásahu	91
Tabulka 13 Hledání odhadu výsledku při použití sousedních pozic, vzorek B, smyčka 14_32.....	95
Tabulka 15 Osymetrizované testy, vzorek A, smyčka 16_21.....	136

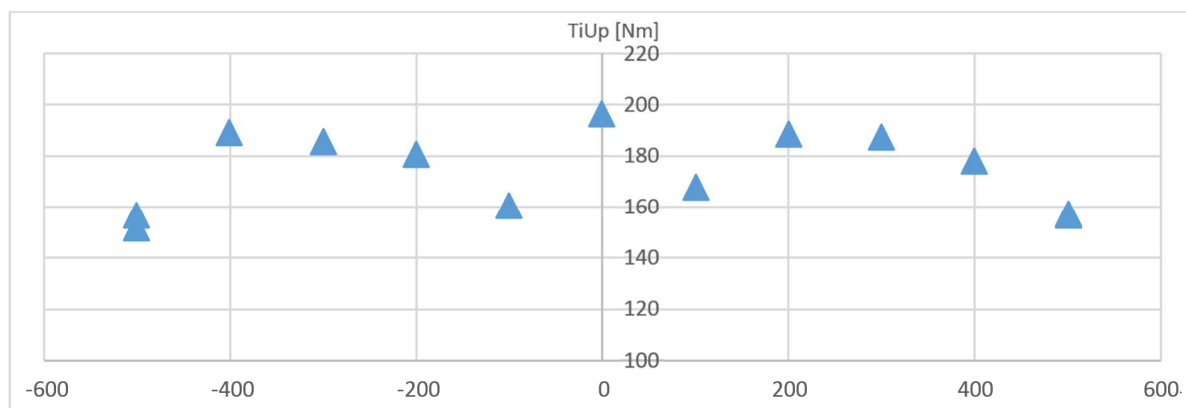
Reference

1. **Maronese N.** . Feature fail: Car safety that never caught on. *autofocus*. [Online] 25. 3 2015. <http://www.autofocus.ca/how-to/technology-guide/feature-fail-car-safety-that-never-caught-on>.
2. **Carsthatnevermadeitetc.** *Carsthatnevermadeitetc.* [Online] 20. 5 2016. <https://carsthatnevermadeitetc.tumblr.com/post/144639677242/blmc-srv5-1974-the-google-sticky-bonnet-patent>.
3. **Laura Sminkey,** **World Health Organization.** http://www.who.int/mediacentre/news/notes/2013/make_walking_safe_20130502/en/. *www.who.int.* [Online] World Health Organisation, 2. květen 2013.
4. EC Europa. Road safety in the European Union - Trends, statistics and main challenges. *ec.europa.eu.* [Online] 2015. ec.europa.eu/roadsafety.
5. *Development and Current Status of the Regulations.* Bernd Lorenz, Dirk-Uwe Gehring. Bergisch Gladbach : Carhs, 2017.
6. World Health Organization. Decade of Action for Road Safety 2011 - 2020, Saving millions of Lives. místo neznámé : World Health Organization, 2011.
7. Otte, Dietmar, Pohlemann, Tim. *ANALYSIS AND LOAD ASSESSMENT OF SECONDARY IMPACT TO ADULT PEDESTRIANS AFTER CAR COLLISIONS ON ROADS.* Hanover, Germany : Accident Research Unit, Medical University Hanover, Germany, 2001.
8. Zander, Oliver, Gehring, Dirk-Uwe a Ratingen, Michiel van. *BEYOND SAFETY LEGISLATION: CONTRIBUTION OF CONSUMER INFORMATION PROGRAMMES TO ENHANCED INJURY MITIGATION OF PEDESTRIANS DURING ACCIDENTS WITH MOTOR VEHICLES.* <http://www.euroncap.com>. [Online] 16. 3 2015. <http://www.euroncap.com/en/for-engineers/technical-papers/>.
9. *MINIMIZING PEDESTRIAN LOWER-LEG INJURY CONSIDERING RATE DEPENDENCE OF THE PLASTIC ENERGY ABSORBER.* H. M. GIL, Y. D. KWON, D. H. KIM, S. KIM. místo neznámé : International Journal of Automotive Technology, 2016. KSAE/ 092–09, pISSN 1229–9138/ eISSN 1976–3832.
10. *skoda-auto.pl.* <http://www.skoda-auto.pl/news/skoda-aktualnosci/skoda-kodiaq-odkrywa-karty-co-kryje-nadwozie-duzego-suv-a>. <http://www.skoda-auto.pl>. [Online] 2017.
11. *Assessing the safety benefits of an advanced vehicular technology for protecting pedestrians.* al., Cheol Oh et. Ansan : Elsevier Ltd., 2007. 40 (2008) 935–942.
12. Escape6. *CRS spoiler Ford.* [Online] <https://www.escape6.cz/csr-spoiler-pod-originalni-predni-naraznik-pro-ford-focus-ii-c307-facelift-id237938/>.
13. ECE. *Addendum 126 - Regulation No. 127, 02 series of amendments to the Regulation.* 2016. E/ECE/324/Rev.2/Add.126/Rev.1/Amend.1–E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.126/Rev.1/Amend.1.

14. Euro NCAP. *EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME, PEDESTRIAN TESTING PROTOCOL, Version 8.3*. 2016. Version 8.3.
15. carhs.de. <http://safetynews.typepad.com/en/2012/02/feb-1-new-euro-ncap-protocols-for-pedestrian-test-and-assessment-released.html>. <http://safetynews.typepad.com>. [Online] 2012.
16. ECE. *Regulation No. 127, 01 series of amendments, Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to their pedestrian safety performance*. 2015. E/ECE/324/Rev.2/Add.126/Rev.1–E/ECE/TRANS/505/Rev.2/Add.126/Rev.1.
17. Jikuang Yang, Jianfeng Yao, Dietmar Otte. *CORRELATION OF DIFFERENT IMPACT CONDITIONS TO THE INJURY SEVERITY OF PEDESTRIANS IN REAL WORLD ACCIDENTS*. Göteborg, Hannover : autor neznámý, 2004. 05-0352.
18. KOMISE EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ. *NAŘÍZENÍ EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 78/2009*. Brusel : EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE, 2009. 78/2009.
19. Yasuhiro Matsui, Shunsuke Takagi, Yoshitomo Tanaka, Naruyuki Hosokawa, Fujine Itoh, Hideto Nakasato, Noriaki Watanabe, Hideki Yonezawa. Characteristics of the TRL Pedestrian Legform and the Flexible Pedestrian Legform Impactors in Car-front. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov>. [Online] 2009. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv21/09-0206.pdf>. Paper Number 09-0206.
20. *Development of anthropometrically based design specifications for an advanced adult anthropomorphic dummy family*. Robbins, D. H. Ann Arbor : UMTRI, University of Michigan, Transportation Research Institute, 1983, Sv. UMTRI-83-53-2.
21. GTR9. *Proposals for methods to evaluate pedestrian protection for passenger cars*. místo neznámé : EEVC European Experimental Vehicle Comitee , 1994.
22. KOMISE EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ. *NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 631/2009*. Brusel : KOMISE EVROPSKÝCH SPOLEČENSTVÍ, 2009. 631/2009.
23. <https://paultan.org/2012/08/30/euro-ncap-awards-five-star-rating-to-five-new-cars/ford-b-max-pedestrian-lower-legform/>. <https://paultan.org>. [Online] 2017.
24. Japan Automobile Internationalization Center (JASIC). *Informal Group on GTR9 Phase2, (IG GTR9-PH2), 1st Meeting, Anticipated Factors for Enhanced Injury Mitigation*. místo neznámé : Japan Automobile Internationalization Center (JASIC), 2011. GTR9-1-07.
25. Pedestrian Injury Biomechanics and Protection. *Musculoskeletal Key Fastest Musculoskeletal Insight Engine* . [Online] 2016. <https://musculoskeletalkey.com/pedestrian-injury-biomechanics-and-protection/#CR54>.
26. *History of Development of the Flexible Pedestrian Legform Impactor (Flex-PLI)*. GTR9-C-04, Edoardo Gianotti. Ženeva : GTR9, 2011.
27. *History of Development of the Flexible Pedestrian Legform Impactor (Flex-PLI), zdroj tabulky IHRA/PS WG 2001 report*. GTR9-C-04, Edoardo Gianotti. Ženeva : GTR9, 2011.

28. B. Been (FTSS Europe). *Design Freeze Status, FlexPLI-GTR Development, Mechanical Design*. 2008. TEG-054-Rev.1 UNECE GRSP.
29. *Status of the introduction of the FlexPLI within regulations on pedestrian protection*. O., Zander. Bergisch Gladbach : carhs, 2010.
30. Zander O., Wisch M., Gehring D. U. *IMPROVEMENT OF THE PROTECTION OF LOWER EXTREMITIES OF VULNERABLE ROAD USERS IN THE EVENT OF A COLLISION WITH MOTOR VEHICLES*. místo neznámé : bast, BGS, 2015. 15-0366.
31. *A Next Generation Pedestrian Legform Impactor*. B., Buenger. Bergisch Gladbach : carhs, 2017.
32. Humanetics Innovative Solutions. *User Manual FLEX PLI GTR Rev G*. místo neznámé : Humanetics Innovative Solutions.
33. *The Flexible Pedestrian Legform Impactor and its Impact on Vehicle Design*. Kinsky T., Friesen F., Buenger B. (Adam Opel AG/General Motors Europe Engineering. Washington : Enhanced Safety of Vehicles Conference, 2011. 11-0328.
34. *A new advanced in pedestrian safety: Finite element (FE) modeling on the Flex-PLI GTR*. Chirag S., Wen-Ren H., Hong Z., Kleesen Ch., Fuchun Z., Kant R. místo neznámé : Humanetics Innovative Solutions, Inc., 2011. 11-0237.
35. Oliver Zander (Bundesanstalt für Straßenwesen), Peter Leßmann, Dirk-Uwe Gehring(BGS Boehme & Gehring GmbH). *Dynamic full assembly certification test procedure (inverse test setup) in conjunction with functional test*. Bergisch Gladbach : Bundesanstalt für Straßenwesen (Federal Highway Institute), 2008.
36. BIA France. *User handbook, Impact simulation test system*. 2017.
37. Frontone GmbH.
http://www.frontone.at/typo3conf/ext/frontone/user_upload/Pruefstaende_Datenblaetter/Fussgaengerschutz/E-Liner_Universal_S/en_datasheet_Universal_S_05_print.pdf.
<http://www.frontone.at>. [Online]
38. NCAP, Euro. *EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME PEDESTRIAN TESTING PROTOCOL Version 5.3.1*. 2011. Version 5.3.1.
39. Vicher, M. *Numerická matematika*. místo neznámé : Matematicko fyzikální fakulta, Univerzita Karlova, 2003.

Přílohy

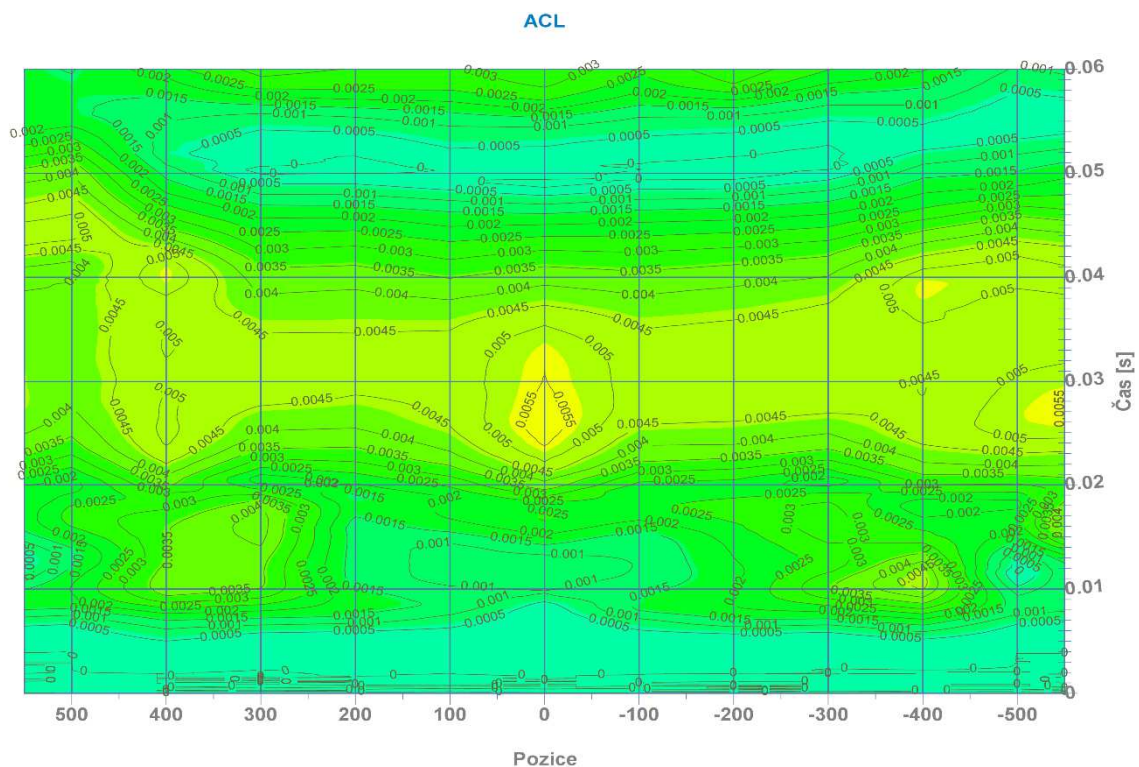


Graf 5, Hodnoty snímače TiUp bez symetrizace, vzorek B, smyčka 14_32, s obráceným pořadím pozic, vlevo kladné, vpravo záporné, který kvůli lepší představitivosti a porovnání s 3D grafy odpovídá pohledu zpredu na automobil

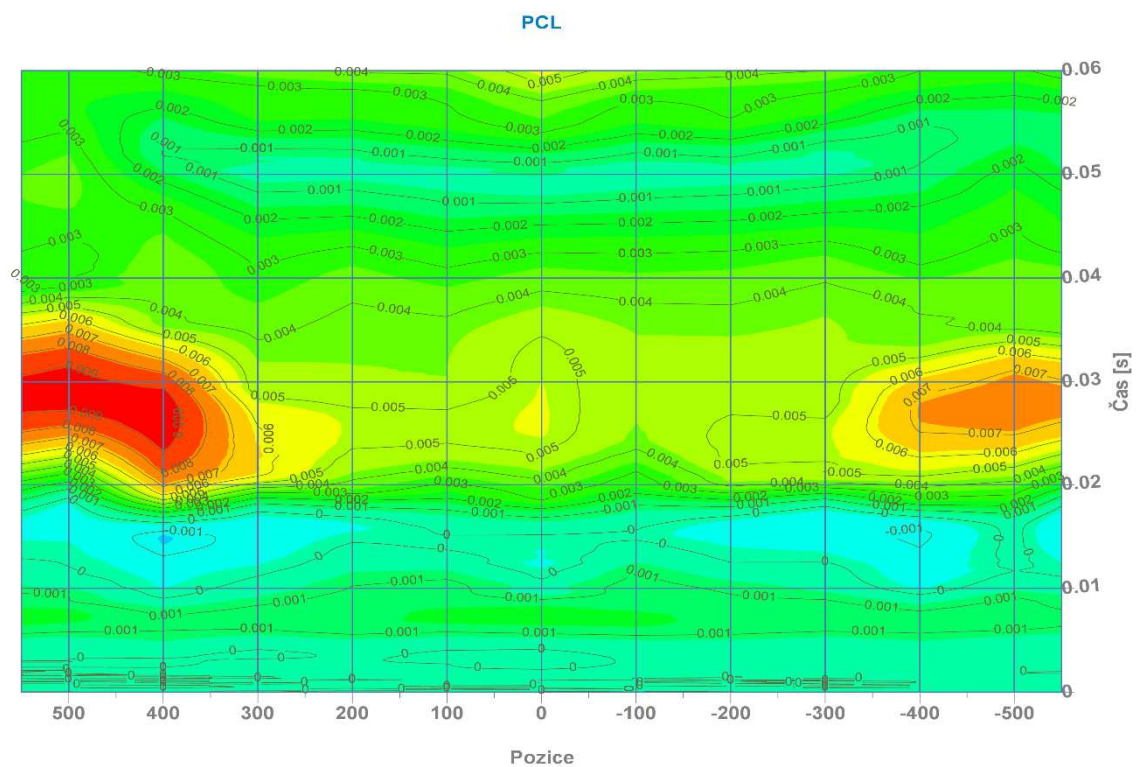
Tabulka 14 Osymetrizované testy, vzorek A, smyčka 16_21

No.	Test no.	T. ID	Y vehicle coordinate	Impact velocity	Impact accuracy y/z	ACL	PCL	MCL	LCL	Ti Up	Tui Mi Up	Ti Mi Lo	Ti Lo	Femur up	Femur middle	Femur low
	yy_xxxx x_zzz		[mm]	[km/h]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]	[Nm]
	Lab			Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab	Lab
2	16_21_002	OR50	500	39,77	y-3/z-2	4,97	5,57	11,96	4,05	193,55	262,45	261,44	128,69	160,11	172,27	174,29
9	16_21_009	OL50	-500	40,02	y-3/z-3	4,83	4,93	11,78	3,52	164,14	213,48	200,39	91,64	161,12	177,23	172,20
4	16_21_004	OR40	400	40,28	y-4/z-2	5,00	4,40	11,21	9,80	185,09	243,12	209,10	97,05	181,09	180,09	153,08
11	16_21_011	OL40	-400	40,28	y+5/z-2	4,40	3,80	10,41	9,40	188,09	223,11	189,09	88,04	178,09	171,08	140,07
1	16_21_001	OR30	300	39,87	y+4/z-2	5,36	5,05	11,02	11,32	172,84	166,78	140,50	69,74	212,26	190,03	139,49
7	16_21_007	OL30	-300	40,32	y-3/z-1	5,60	4,00	9,40	9,60	162,92	145,93	122,94	61,97	228,89	185,91	131,93
5	16_21_005	OR20	200	40,32	y-7/z+0	6,80	5,10	11,49	11,39	188,91	171,91	130,94	60,97	211,89	183,91	126,94
6	16_21_006	OL20	-200	40,33	y+3/z-1	6,10	5,00	10,89	11,19	187,86	165,88	124,91	59,96	198,85	188,86	122,91
3	16_21_003	OR10	100	40,45	y-1/z+3	7,07	5,58	12,85	12,65	211,21	186,31	136,49	62,77	181,33	209,22	135,50
10	16_21_010	OL10	-100	40,18	y-1/z-2	6,42	5,32	12,24	11,84	215,64	195,58	143,43	67,20	197,59	204,61	140,42
8	16_21_008	OL00	0	40,1	y+2/z-3	7,24	6,23	16,58	14,67	246,22	211,05	149,74	68,34	157,78	238,18	187,93
10	16_21_010	OL10	-100	40,18	y-1/z-2	6,42	5,32	12,24	11,84	215,64	195,58	143,43	67,20	197,59	204,61	140,42
3	16_21_003	OR10	100	40,45	y-1/z+3	7,07	5,58	12,85	12,65	211,21	186,31	136,49	62,77	181,33	209,22	135,50
6	16_21_006	OL20	-200	40,33	y+3/z-1	6,10	5,00	10,89	11,19	187,86	165,88	124,91	59,96	198,85	188,86	122,91
5	16_21_005	OR20	200	40,32	y-7/z+0	6,80	5,10	11,49	11,39	188,91	171,91	130,94	60,97	211,89	183,91	126,94
7	16_21_007	OL30	-300	40,32	y-3/z-1	5,60	4,00	9,40	9,60	162,92	145,93	122,94	61,97	228,89	185,91	131,93
1	16_21_001	OR30	300	39,87	y+4/z-2	5,36	5,05	11,02	11,32	172,84	166,78	140,50	69,74	212,26	190,03	139,49
11	16_21_011	OL40	-400	40,28	y+5/z-2	4,40	3,80	10,41	9,40	188,09	223,11	189,09	88,04	178,09	171,08	140,07
4	16_21_004	OR40	400	40,28	y-4/z-2	5,00	4,40	11,21	9,80	185,09	243,12	209,10	97,05	181,09	180,09	153,08
9	16_21_009	OL50	-500	40,02	y-3/z-3	4,83	4,93	11,78	3,52	164,14	213,48	200,39	91,64	161,12	177,23	172,20
2	16_21_002	OR50	500	39,77	y-3/z-2	4,97	5,57	11,96	4,05	193,55	262,45	261,44	128,69	160,11	172,27	174,29

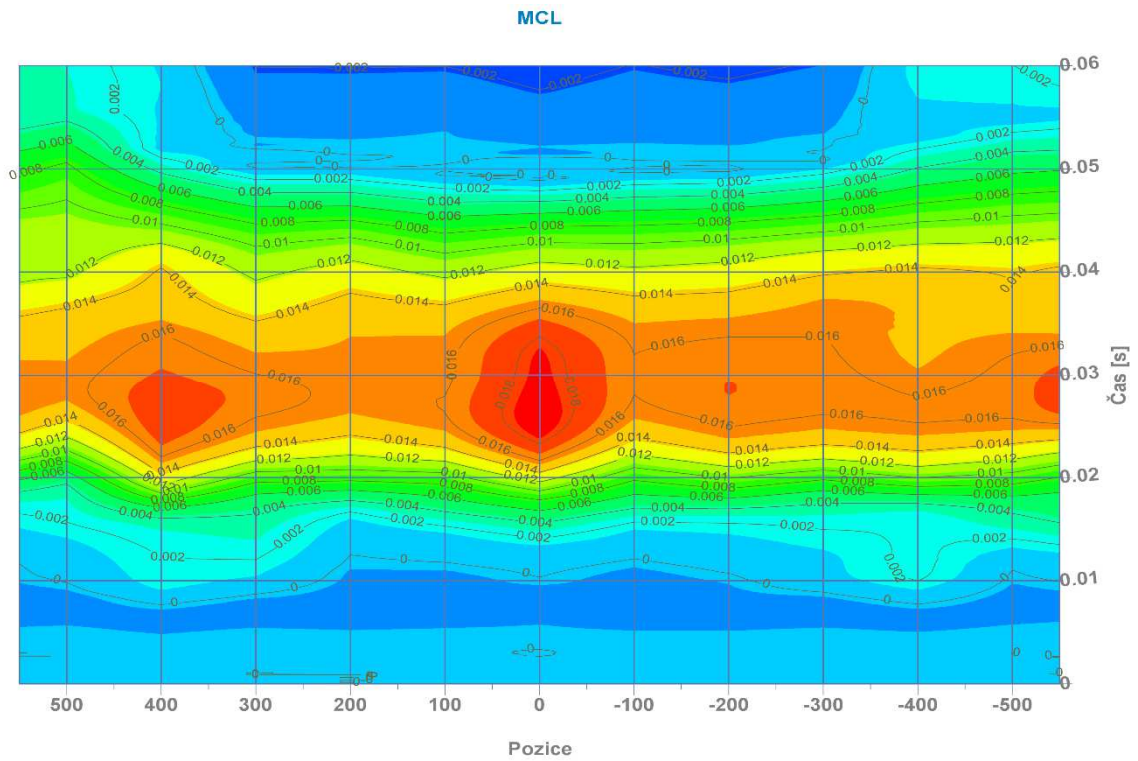
Průběh signálů snímačů na testech vzorku B, smyčka 14_32. Jelikož byly provedeny testy na krajích dvakrát na stejnou pozici (2 x -500 a 2 x +500), jsou v těchto grafech přidány fiktivní pozice -550 a +550.



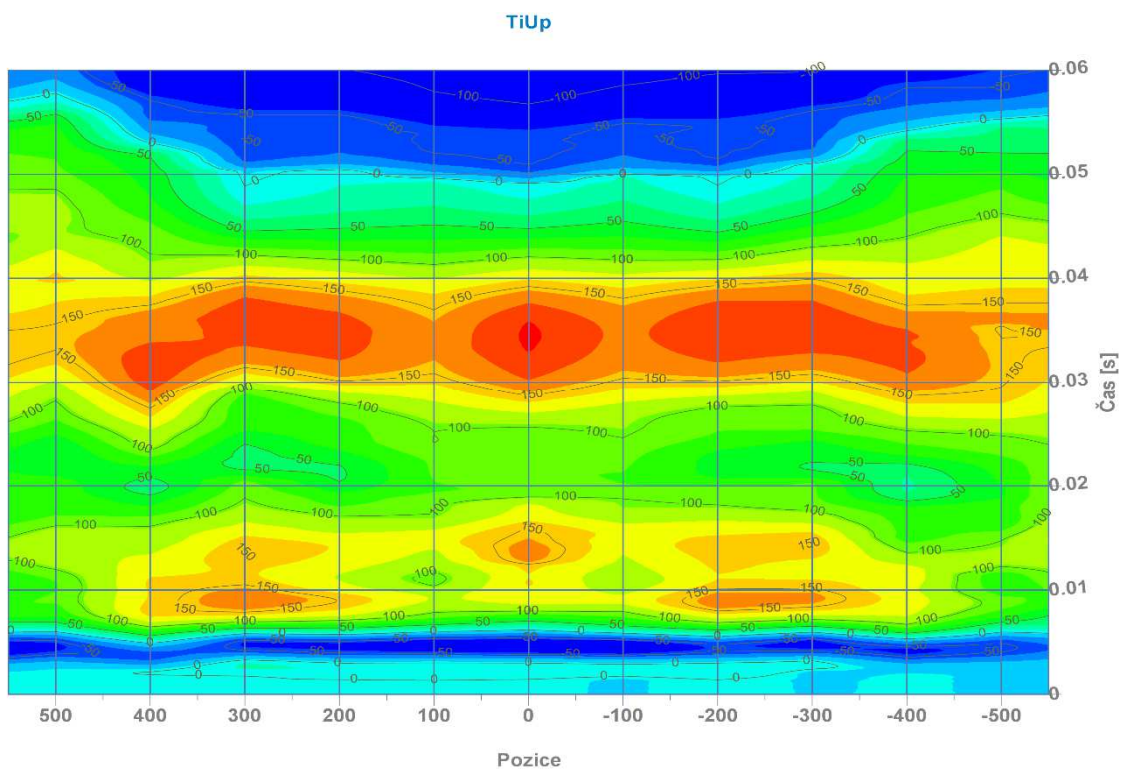
Obr. 160 Průběh signálů na snímači ACL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32



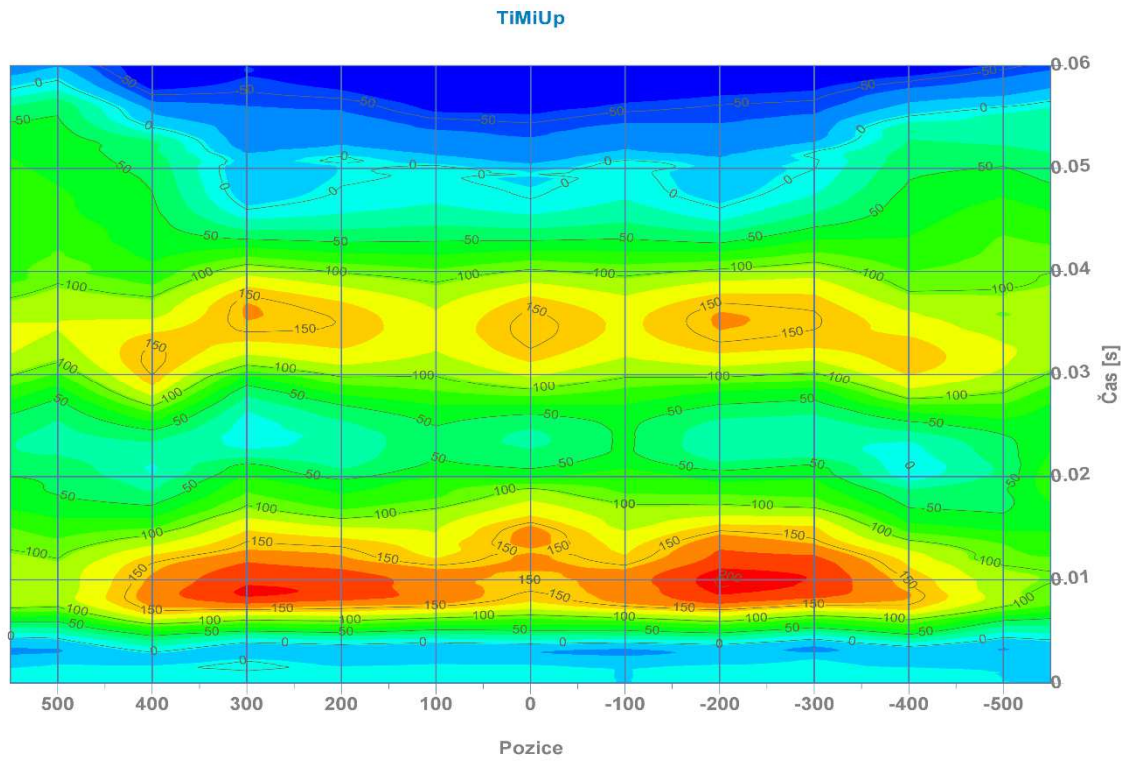
Obr. 161 Průběh signálů na snímači PCL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32



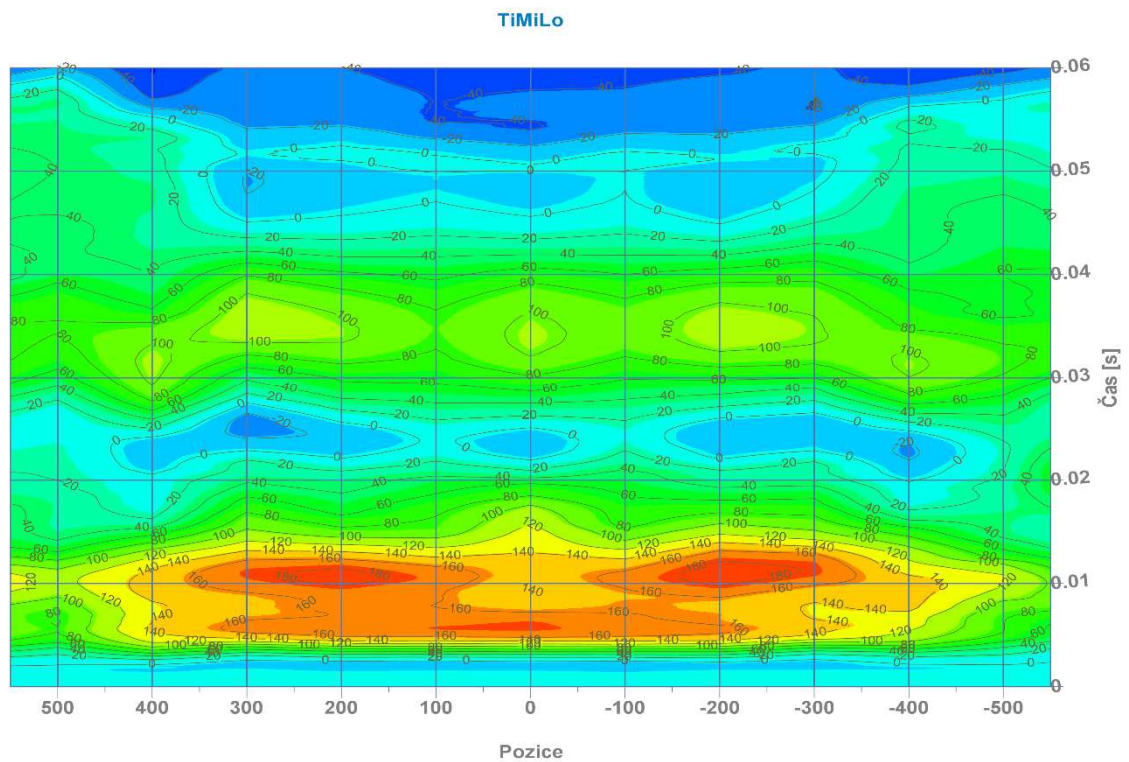
Obr. 162 Průběh signálů na snímači MCL přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32



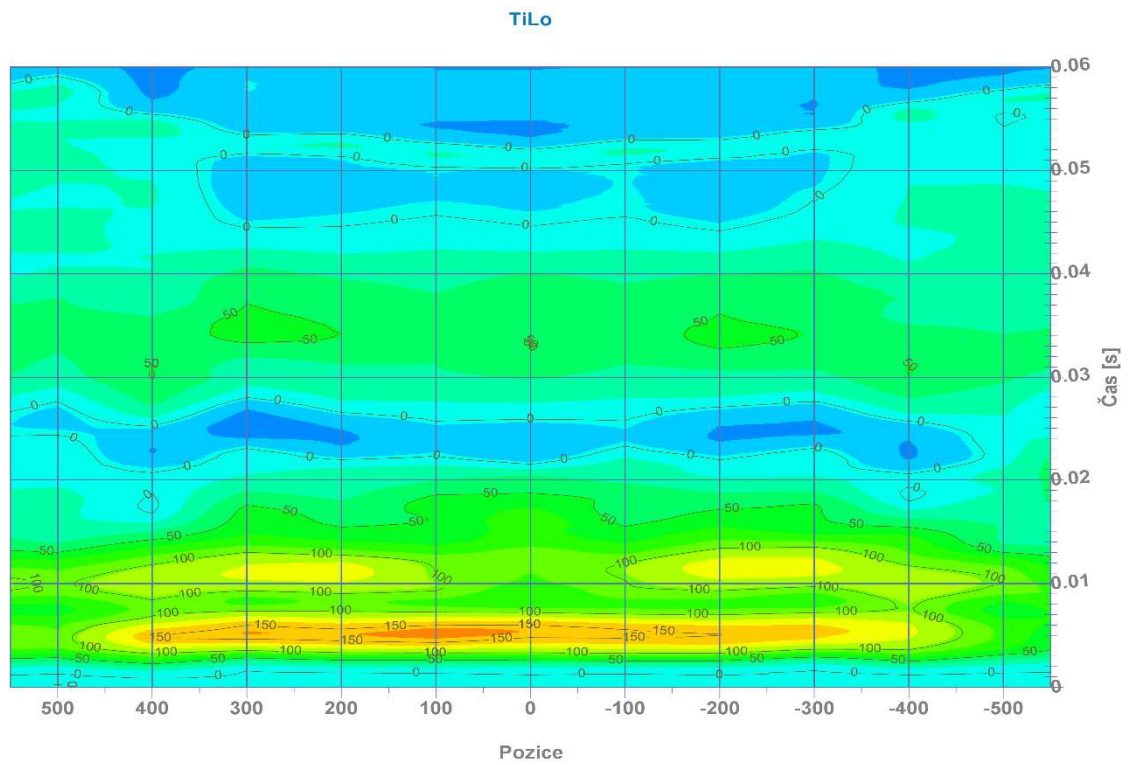
Obr. 163 Průběh signálů na snímači TiUp přes všechny pozice, vzorek B, smyčka 14_32



Obr. 164 Průběh signálů na snímači TiMiUp přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 14_32



Obr. 165 Průběh signálů na snímači TiMiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 14_32



Obr. 166 Průběh signálů na snímači TiLo přes všechny pozice, vzorek A, smyčka 14_32

Publikační činnost

Steer – by – wire testing rig, IDS Smolenice 2010, Faculty of Materials Science and Technology in Trnava

Denting of light – alloy panels, MATERIAIS 2009 Symposium, Lisboa, Nuno Ricardo Maia Peixinho (University of Minho, Guimaraes)

Autor od začátku kontaktu s pasivní bezpečností (zkušebny TÜV SÜD Czech Úhelnice, TÜV SÜD Czech Abraziv, AUREL CZ (dříve AZOS CZ) Chrastava) pracoval s prototypovými vzorky podléhajícími průmyslovému utajení.

Z tohoto důvodu byla ztížena možnost publikační činnosti.