



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONSTRUKČNÍ NÁVRH ULOŽENÍ MĚŘICÍ APARATURY

IMC VE VOZIDLE

DESIGN OF DATA ACQUISITION EQUIPMENT IMC FASTENING SYSTEM IN THE CAR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Černý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Ramík

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

| | |
|-------------------|--|
| Ústav: | Ústav automobilního a dopravního inženýrství |
| Student: | Bc. Martin Černý |
| Studijní program: | Strojní inženýrství |
| Studijní obor: | Automobilní a dopravní inženýrství |
| Vedoucí práce: | Ing. Pavel Ramík |
| Akademický rok: | 2017/18 |

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

Konstrukční návrh uložení měřicí aparatury IMC ve vozidle

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Naplní práce je vytvoření konstrukčního návrhu upevnění měřicí aparatury IMC ve vozidle pro účely měření provozního zatížení.

Cíle diplomové práce:

Provést analýzu požadavků na funkční chování upevnění měřicí aparatury IMC ve vozidle.

Sestavit rešerši možných technických řešení konstrukce upevnění měřicí aparatury ve vozidle.

Provést analýzu zatížení konstrukce z hlediska tuhosti, pevnosti, vibrací a životnosti.

Vytvořit konstrukční návrh systému upevnění.

S využitím vhodných metod provést dostupnou analýzu funkčního chování navržené konstrukce a na základě získaných výsledků případně navrženou konstrukci upravit. V případě potřeby tento postup opakovat.

Zpracovat výkresovou dokumentaci navržené konstrukce a vytvořit manuál k jejímu použití.

Zhodnotit navrženou konstrukci a vyslovit se k vhodnosti jejího použití ve vozidle.

Seznam doporučené literatury:

GILLESPIE, Thomas. D. Fundamentals of Vehicle Dynamics. Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1992. 519 s. ISBN 1-56091-199-9.

SHIGLEY, Joseph Edward, MISCHKE, Charles R. a BUDYNAS, Richard G. (ed.). Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUT IUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.

KLEIN, Bernd. FEM Grundlagen und Anwendungen der Finite-Element-Methode im Maschinen- und Fahrzeugbau. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag, 2012. 428 s. ISBN 978-3-8348-1603-0.

ABSTRAKT

Při měření dynamického zatížení a vibrací určitých částí karosérie nebo dílů ostatního příslušenství automobilů je prováděno za pomoci akcelerometrů a měřících aparatur IMC. Ty je potřeba upnout do přípravku, který musí být jednoduše instalován do interiéru vozu tak, aby nebylo potřeba demontovat žádnou část interiéru a aby nedošlo k poškození žádné části interiéru. Přípravek taktéž musí odolávat značnému dynamickému zatížení, které vzniká při zkouškách ve zostřeném provozu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Měřící aparatura, IMC, dynamické zatížení, přípravek, Škoda Auto, pevnostní analýza, modální analýza, harmonická analýza, únava materiálu, vibrace, kmitání, MKP, konstrukce, jízdní zkoušky

ABSTRACT

Devices for measuring the dynamic load and vibration of certain parts of the bodywork or parts of other parts of the vehicle are made using accelerometers and measuring instruments IMC. It must be simply installed into the interior of the vehicle so that it is not necessary to remove any parts of the interior and to avoid damage to all parts of the interior. The preparation must also withstand the considerable dynamic load generated by the harder operation tests.

KEYWORDS

Measuring apparatus, IMC, dynamic load, product, Skoda Auto, strength analysis, modal analysis, harmonic analysis, material fatigue, vibration, oscillation, FEM, construction, driving tests

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Černý, M. *Konstrukční návrh uložení měřicí aparatury IMC ve vozidle*. Brno, 2018. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 70 s. Vedoucí diplomové práce Pavel Ramík.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Pavla Ramíka a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. května 2018

.....

Bc. Martin Černý

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. P. Ramíkovi za věcné připomínky a odborné vedení mé diplomové práce. Dále panu Ing. K. Zdražilovi za odborné vedení a konzultace během mého praktikantského a diplomantského pobytu ve Škoda Auto. Dále bych rád poděkoval své rodině, přítelkyni a svým blízkým za jejich podporu a oporu během mého studia.

OBSAH

| | |
|--|----|
| Úvod..... | 8 |
| 1 Charakteristika problému | 9 |
| 1.1 Popis měřicí aparatury IMC: | 9 |
| 1.2 Analýza požadovaných vlastností: | 10 |
| 1.3 Hodnotová analýza: | 15 |
| 2 Návrhy konstrukčních řešení přípravku: | 17 |
| 2.1 Využití bezpečnostního systému ISOFIX: | 17 |
| 2.2 Umístění na palubní desku: | 19 |
| 2.3 Umístění za přední sedadlo: | 20 |
| 2.4 Umístění do zavazadlového prostoru:..... | 22 |
| 2.5 Další možná umístění:..... | 22 |
| 3 Konstrukce přípravku: | 23 |
| 3.1 Konstrukční návrh 1:..... | 23 |
| 3.2 Konstrukční návrh 2:..... | 32 |
| 4 Analýzy MKP | 42 |
| 4.1 Provozní zatížení: | 42 |
| 4.2 Pevnostní analýza: | 46 |
| 4.3 Modální analýza: | 50 |
| 4.4 Harmonická analýza: | 55 |
| 4.5 Únava materiálu:..... | 59 |
| 5 Montážní postup..... | 62 |
| Závěr | 65 |
| Seznam použitých zkratk a symbolů | 69 |
| Seznam příloh | 70 |

ÚVOD

Vývoj nových automobilů je doprovázen řadou zkoušek, aby bylo možné odstranit veškeré nedostatky a maximálně eliminovat nežádoucí vlivy. Vývoj karosérií a montovaných dílů automobilky Škoda Auto a.s. provádí především jízdní zkoušky při zostřeném provozu na testovacím polygonu EHRA poblíž Wolfsburgu v Německu, která trvá přibližně 130 hodin a testovací vůz při zkoušce ve zostřeném provozu urazí vzdálenost 8000 km, což odpovídá ujetí přibližně 150 000 km v reálném provozu. Při zkoušce jsou v měřené oblasti umístěny akcelerometry, které jsou propojeny s měřicí aparaturou, resp. aparaturami, které zaznamenávají závislost zrychlení v čase. Na základě vyhodnocení průběhů těchto dynamických zatížení lze navrhnout potřebná konstrukční řešení, která by eliminovala nežádoucí vlivy, jako např. vibrace, krátká únavová životnost součástí, apod.

Umístění a uchycení měřicí aparatury v interiéru automobilu doposud bylo realizováno za pomoci utahovacích textilních pásů většinou na loketní opěrku řidiče. Toto řešení provizorní a je potřeba jej modifikovat tak, aby nedocházelo k omezení komfortu řidiče, bylo možné umístit až 3 aparatury a aby byla samotná instalace časově nenáročná. Proto bylo rozhodnuto o realizaci přípravku pro uchycení této měřicí aparatury.

Na základě toho byla provedena analýza požadovaných vlastností, která má zanalyzovat požadavky kladené na použití přípravku. Následně pak řešerše pro různá konstrukční řešení v závislosti na umístění přípravku s měřicí aparaturou v interiéru automobilu. Po konzultaci se zadavatelem bylo vybráno nejvhodnější umístění. Na základě toho byly provedeny konstrukční návrhy, které byly rovněž předloženy zadavateli. Vybraný konstrukční návrh byl pak konstrukčně a materiálově modifikován tak, aby vykazoval známky co nejefektivnějšího použití a splňoval dané požadavky.

Následně byly aplikovány analýzy Metodou konečných prvků (MKP), které měly ověřit možnost reálného použití a případně upozornit na nutnost konstrukční modifikace. Konkrétně se jedná o pevnostní analýzu, modální analýzu a harmonickou analýzu.

1 CHARAKTERISTIKA PROBLÉMU

Vývoj nových vozů Škoda ve velmi složitý a sofistikovaný proces. Je mimo jiné doprovázen řadou zkoušek a měření, které se zabývají nejen systémy související s pohonným ústrojím automobilu, ale i karosérií a jejím příslušenstvím. Tyto zkoušky se většinou zabývají životností měřeného prvku, tedy únavou materiálu. Pro tyto sofistikovaná měření je zapotřebí použít měřicí aparaturu odpovídajících vlastností. Oddělení vývoje karosérií a montovaných dílů Škoda-Auto a.s. pro tyto zkoušky využívá mimo jiné měřicí aparatury Německého výrobce IMC.

1.1 POPIS MĚŘÍCÍ APARATURY IMC:

Řešená problematika se zabývá konkrétně IMC měřicí aparaturou s modelovým označením CS – 7008 – N. Tento typ měřicí aparatury představuje řadu výhod pro zadané požadavky měření.

Jednou z nich jsou rozměry a hmotnost. Aparatura je jednoduše přenosná, přičemž její hmotnost je 1,8 kg. Poskytuje velkou řadu možností měření. Součástí hardwarového vybavení je i paměťové médium o kapacitě 8 GB a přenosný grafický display, který je dotykový a umožní řízení a vizualizaci měření. Aparatura může tedy provádět měření připojená k PC nebo i jako autonomní zařízení. Dále tento typ je vhodný pro měření rychlých i pomalých měření všech fyzikálních veličin, včetně dynamických, které jsou prioritní pro danou problematiku. Funkčnost přístroje je možné rozšířit pomocí externích modulů Cansas k sběrnici CAN, tudíž je možnost získávat jízdní data přímo z řídicích jednotek automobilů. Za prioritní vlastnosti měření karosérií a montovaných dílů v automobilu je nutné považovat především měření dynamických vlivů. Ty díky použití vhodných akcelerometrů lze získávat se vzorkovací frekvencí až 100 kHz na kanál, což lze pokládat za velmi přesná měření. Zabudovaný signálový procesor ve spojení se softwarovým vybavením FAMOS Online Professional umožňuje provádět přímo v přístroji složité matematické operace v reálném čase, vytvářet virtuální kanály, provádět redukci dat a případně nastavovat připojený přenosný display. Měřicí aparatura IMC je také schopna obstojně odolávat vnějším vlivům okolního prostředí. Samotná je konstruována tak, aby odolala zatížení dle normy MIL 810 F, což je vojenská americká norma, která by se původně zabývala převážně ochranou životního prostředí, v dnešní době zahrnuje i okolní vlivy, působící na elektroniku tohoto typu, jako např. vibrace a hluk, vlhkost a teplotu okolního prostředí apod. Konkrétně tato aparatura je schopna vykonávat měření při přetížení až 40 g, při vlhkosti okolního vzduchu v rozpětí 10–90 % a teplotě - 25°C až + 80°C. Tyto podmínky sice přesahují požadavky, které Škoda-Auto a.s. požaduje pro měření, ale zase je výhodné, že zásadně nebudou ovlivňovat konstrukci přípravku. Mezi další dodatkové funkce patří např. bezdrátové spojení s PC pomocí PCMCIA slotu, zajištění polohy měřicí aparatury pomocí vloženého GPS slotu se vzorkovací frekvencí 5 Hz, připojení teplotních snímačů pomocí konektorů UNI2 včetně TEDS, umožnění získávání dat z vozidla pomocí sběrnice CAN, napájení aparatury přímo z vozidla pomocí příslušného kabelu a vytvoření propojení mezi dvěma měřicími ústřednami pomocí Switch kabelu. [1]



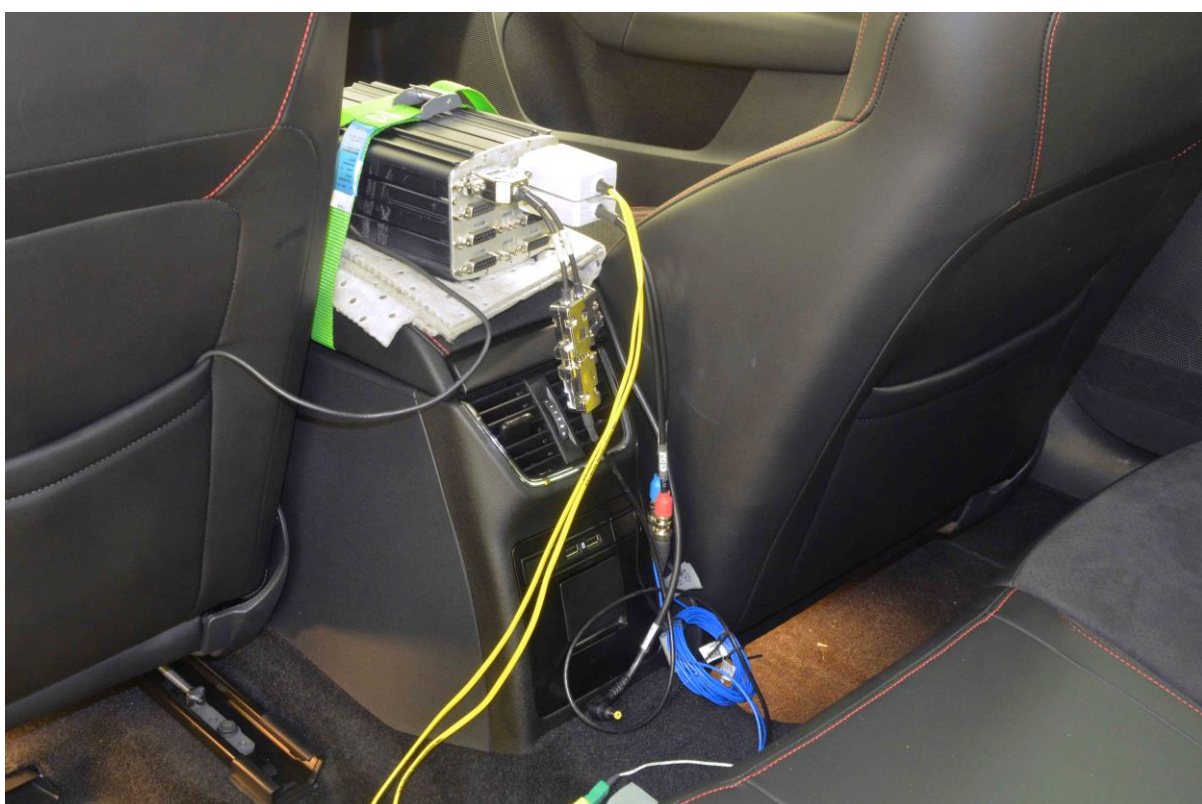
Obr. 1 Měřicí aparatura IMC CS – 7008 - N [1]

1.2 ANALÝZA POŽADOVANÝCH VLASTNOSTÍ:

Při stávajícím měření byla aparatura zařazována do interiéru vozidla na nejvhodnější místo pomocí textilních popruhů např. na loketní opěrku. Ukázka použití tohoto řešení, konkrétně ve voze Škoda Octavia RS, je viditelná níže na obrázcích 2 a 3. Jak je vidět, toto řešení není úplně ideální. Může mj. omezit komfort řidiče při průběhu jízdny zkoušky. Aby bylo zjednodušeno měření, je potřeba vytvoření přípravku, který ukotví aparaturu v interiéru vozidla. Je ovšem nutné zvolit vhodné umístění tohoto přípravku spolu s měřicí aparaturou. Aby bylo vybráno nejvhodnější umístění, je potřeba zanalyzovat potřebné faktory, které má tento přípravek mít.



Obr. 2 Současné použití uchycení IMC aparatury v interiéru vozu Škoda Octavia RS



Obr. 3 Současné použití uchycení IMC aparatury v interiéru vozu Škoda Octavia RS

V následujících bodech je tedy analýza zmíněných požadovaných vlastností přípravku:

1.2.1 OBTÍŽNOST INSTALACE APARATURY A PŘÍPRAVKU:

Cílem přípravku je zjednodušit měřicí proces. Instalace přípravku do interiéru automobilu by měla být jednoduchá a měla by být časově co nejméně náročná. To samé platí taktéž o kompletaci přípravku s aparaturou. Aparatura by měla být do přípravku ukotvena pomocí několika jednoduchých úkonů. V opačném případě by aparatura ztrácela smysl. Instalace přípravku do interiéru vozidla a jeho následné spojení s aparaturou by mělo být tedy časově výhodnější.

1.2.2 ZACHOVÁNÍ STÁVAJÍCÍCH PROCESŮ MĚŘENÍ:

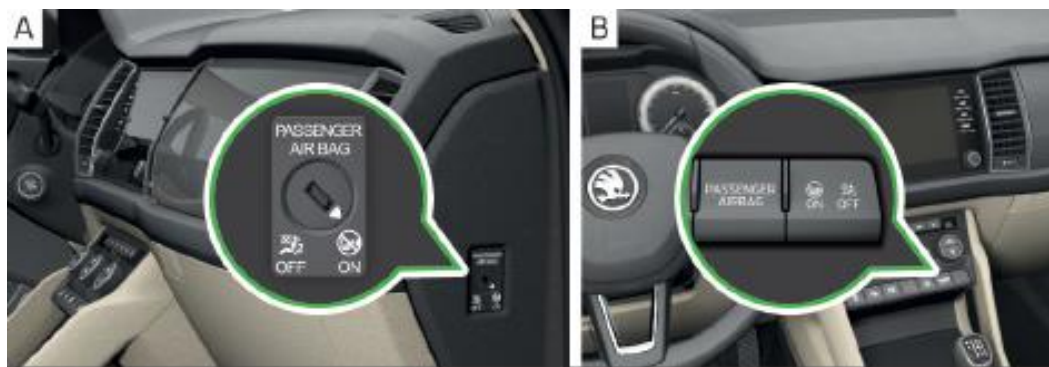
Přípravek s aparaturou by neměl nijak omezit stávající procesy měření. Tím je myšleno především to, že by nemělo dojít k různým omezením funkčního prostoru a nemuselo tak dojít např. k reorganizaci ostatních příslušenství v interiéru vozidla, které jsou součástí měření. Měření probíhá při provozním zatížení vozidla, kdy ve vozidle sedí řidič a spolujezdec, který ovládá aparaturu, popř. řídí měřicí proces. Zatížení v zavazadlovém prostoru je zajištěno příslušným závažím a zatížení na zadních sedadlech je zajištěno pomocí zatěžovacích figurín. Použití figurín by mj. nemělo být taktéž nijak omezeno.

1.2.3 PŘÍSTUP K MĚŘÍCÍ APARATUŘE:

Přípravek by měl být umístěn tak, aby byla instalace vhodně přístupná. Pokud by byla měřicí aparatura umístěna na obtížně přístupném místě, postrádala by smysl. Při měření je vhodné mít s aparaturou vizuální kontakt a bylo by velmi pozitivní zohlednit při volbě umístění i to, aby byla aparatura umístěna v dosahu obsluhy při průběhu měření. To především z důvodu případné kontroly zapojení konektorů. Dále je nutné brát v úvahu i to, že při měření samotná aparatura odvádí teplo nezanedbatelného množství. Je tedy vhodné ji umístit tak, aby byla usnadněno odvádění tepla a aparatura se tak nepřehřívala.

1.2.4 BEZPEČNOST PŘI MĚŘENÍ:

Velký důraz musí být kladen taktéž na bezpečnost posádky při měření. Je nutné počítat i s variantou, že při jízdních zkouškách může dojít k nehodě automobilu. V takovém případě musí být zabezpečeno, že aparatura včetně přípravku zůstane i v této situaci pevně zafixována na původním místě v interiéru vozidla. V opačném případě by mohlo dojít k zasažení posádky ve vozidle. Jelikož samotná aparatura váží 1,8 kg a její obal je vyroben z hliníku, mohlo by tak dojít k vážnému zranění posádky. Aparatura též nesmí být nahrazena některým z pasivních bezpečnostních prvků, příslušící některému z členů posádky při průběhu měření. Tím je myšleno např. umístění, resp. nahrazení přípravku s měřicí aparaturou na místo hlavové opěrky. Pokud by byl přípravek s aparaturou umístěn do míst s palubní deskou nebo do jiného místa funkčního pro airbasy, je důležité zohlednit možnost jejich vystřelení a zjistit, zda je možná jejich deaktivace v požadovaném místě. U automobilů Škoda lze deaktivovat airbag spolujezdce prostřednictvím klíče od vozu otočením ve spínači, který bývá umístěn na pravé straně palubní desky a je dostupný po otevření spolujezdcových dveří. Deaktivace airbagu je signalizována pomocí kontrolky (viz. Obr. 4). Při zmíněné deaktivaci dojde pouze k deaktivaci čelního airbagu, nikoliv k deaktivaci bočních či hlavových. U některých starších typů bývá umístěn v uzamykatelné přihrádce palubní desky na místě spolujezdce. Funkce deaktivace slouží primárně k deaktivaci airbagu v případě, že je na místě spolujezdce převáženo dítě (batole) v dětské sedačce.



Obr. 4 Umístění spínače pro deaktivaci airbagu spolujezdce a kontrolního světla deaktivace u vozu Škoda Kodiaq [2]

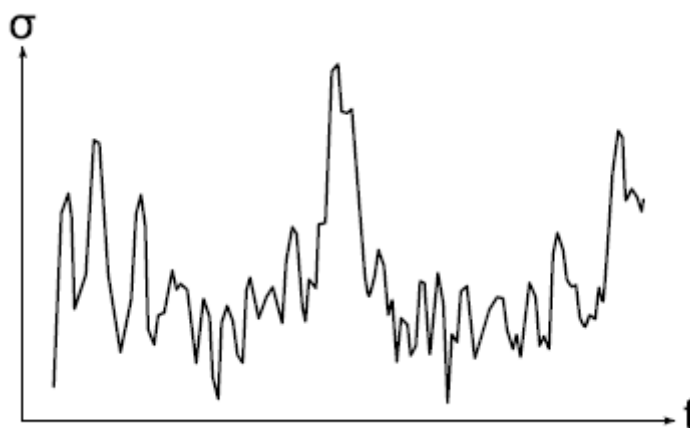
Dalším důležitým faktorem ovlivňující bezpečnost je dostatečný výhled z vozu. Umístěný přípravek s měřicí aparaturou by neměl znemožňovat výhled z vozu, a to především řidiči. Při případném znemožnění výhledu nebo výraznějším zaclonění by při měření mohlo dojít k nehodě vozu. K nalezení vhodného umístění přípravku je třeba nakládat i s touto skutečností.

1.2.5 ZAMEZENÍ NEVRATNÝCH DĚJŮ:

Při instalaci přípravku s měřicí aparaturou je důležité, aby nedošlo k poškození nebo nevratnému narušení jakéhokoliv příslušenství ve vozidle. Přípravek musí být konstruován tak, aby po skončení měření a jeho demontáži nebyly zanechány jakékoliv znaky jeho předchozí přítomnosti jako např. praskliny, rýhy, otlacení, apod. Je třeba brát v úvahu fakt, že automobil se bude po skončení daného měření či jízdní zkoušky využívat i k jiným účelům.

1.2.6 ODOLNOST PROTI DYNAMICKÉMU ZATÍŽENÍ:

Důležitým parametrem pro konstrukci přípravku je předpoklad určitého zatížení. Ze vstupních parametrů aparatury IMC je známo, že její hmotnost je 1,8 kg. Ze zadání je ovšem známo, že přípravek bude zatěžován převážně dynamicky. Hodnoty pro výpočet tohoto zatížení budou použity z již proběhnutých měření v interiéru automobilu, a to z místa, které bude nejvíce odpovídat reálnému umístění aparatury. Hodnoty jsou měřeny pomocí akcelerometrů a měří hodnoty zrychlení ve třech osách x, y, z. Měření probíhá na zkušebním polygonu VW Ehra - Lessien v blízkosti Wolfsburgu. Životnost vozu, resp. karosérie vozu, je testována pouze na vzdálenosti ujetí 8000 km, přičemž délka jednoho okruhu je 16 km a automobil jej při měření ujede 500 krát. Jelikož reálná předpokládaná životnost automobilu je mnohonásobně vyšší, tak lze usuzovat, že stav vozovky, resp. podmínky na polygonu jsou náročné. Z toho vyplývá, že dynamické účinky působící na automobil jsou mnohem vyšší než v reálném provozu. Přesto by ale maximální hodnoty amplitudy zrychlení neměly být větší než ± 5 g. Jelikož automobil téměř neustále akceleruje, resp. brzdí, projíždí zatáčky a působí na něj rázy při průjezdu nerovností nebo povětrnostní vlivy, není průběh dynamického zatížení v čase symetrický, ale velmi variabilní a v čase se mění amplituda zatížení. Dále je třeba vzít v úvahu to, že přípravek bude mít vruby a bude se tedy tvořit trojosá napjatost. Navíc existuje velké množství činitelů, které mohou ovlivňovat velikost amplitudy, proto se nemůžeme hovořit o zátěžovém cyklu, ale o zátěžovém bloku, který obsahuje více zátěžových cyklů s různou amplitudou. Jako jeden zátěžový blok bych uvažoval jedno kolo o délce 16 km na zkušebním polygonu. I když všechny bloky nebudou mít, díky odlišné rychlosti průjezdů jednotlivých kol okruhu nebo vlivem opotřebení tlumičů, apod., stejný průběh amplitudy na čase, zajistím tak největší podobnost jednotlivých bloků. Příklad zátěžového bloku je zobrazen na obrázku 5. [3]



Obr. 5 Příklad zatěžovacího bloku [4]

1.2.7 ODOLNOST PROTI TEPLOTNÍMU ZATÍŽENÍ:

Teplota má nezanedbatelný vliv na změnu vlastností materiálu. Je proto důležité odhadnout provozní teplotu aparatury a okolní teplotu při měření, aby s ohledem na ní byl zvolen materiál. Materiál by měl pak být zvolen tak, aby nezasahoval, nebo pokud možno nepřibližoval se, tzv. tranzitní oblasti, tedy oblasti teplot, kdy materiál mění své vlastnosti z tvárných na křehké. Na základě toho pak bude rozhodnuto, jestli se bude jednat o ocel, slitinu, plast nebo kompozit. Předpokládaná okolní teplota, resp. teplota v interiéru automobilu během měření je 15 – 30°C. Aparatura ovšem při měření vyrazuje značné množství tepla. Vznosl jsem tedy dotaz přímo na divizi měření dodavateli této aparatury a zjistil jsem následující. Teplota hliníkového povrch měřící aparatury IMC CS – 7008 – N při měření nepřesáhne 50°C. To ovšem za předpokladu, že dochází k dobré výměně tepla s okolím a aparatura je tedy dobře odvětrávána. Pokud je ovšem přístroj obalen nějakou izolací, umístěn v nějakém pouzdru nebo je v jiném prostředí, kde je omezená cirkulace vzduchu v okolí aparatury, teplota může přesáhnout 70°C a v tom případě může dojít k přehřátí a k poškození přístroje. Přípravek tedy musí být i konstruován tak, aby nezamezoval cirkulaci vzduchu a nedocházelo tak k jeho přehřívání.

1.2.8 ŽIVOTNOST PŘÍPRAVKU:

Předpokladem pro používání přípravku na uchycení aparatury je i jeho životnost. Ta závisí především na působení cyklického dynamického zatížení. To vyplývá z definice únavového poškození materiálu, kde je řečeno, že únava materiálu je proces vzniku a šíření trhlin při časově proměnném zatěžování, kde základními parametry popisující únavové chování jsou čas nebo počet cyklů (resp. bloků) do lomu a nějaká veličina, charakterizující pohyb. Tou může být síla, napětí, součinitel napětí, apod. Z toho vyplývá, že při konstrukci přípravku musí být vhodně zvolen materiál a prověřena veškerá nebezpečná místa s výskytem vrubů. To vše s ohledem na reálný počet bloků (resp. kol na testovacím polygonu) během životnosti přípravku.

1.2.9 TUHOST PŘÍPRAVKU:

Dalším předpokladem pro správnou funkčnost přípravku je jeho dostatečná tuhost. Přípravek by se s aparaturou neměl nijak znatelně prověšovat ani kroutit při působení dynamických a teplotních zatěžovacích účinků během měření.

1.2.10 HMOTNOST A ROZMĚRY PŘÍPRAVKU:

Přípravek by neměl být velmi rozměrný a zároveň příliš těžký. Tím bude zajištěno jednodušší připojení k interiéru automobilu a zároveň částečně sníženy setrvačné síly, resp. dynamické účinky, působící na přípravek s měřicí aparaturou. Hmotnost taky závisí na volbě materiálu. Ten bude zvolen s ohledem na dynamické a teplotní zatížení.

1.2.11 EKONOMIČNOST VÝROBY PŘÍPRAVKU:

Výroba přípravku by měla být v rámci mezí ekonomická. To se odvíjí především na volbě materiálu, technologii výroby a konstrukčním řešením.

1.2.12 DESIGN PŘÍPRAVKU:

Na závěr požadovaných vlastností bych uvedl, že přípravek by spolu s přístrojem neměl být moc křivý a měl by splňovat určité designové vlastnosti, i když se jedná pouze o měřicí pomůcku a nikoliv o příslušenství, které by bylo v interiéru vozu instalováno trvale a mohlo by tak vzbudit negativní pohled u potenciálních zákazníků automobilky Škoda-Auto a.s. Design je možno ovlivnit především konstrukcí, částečně však také volbou materiálu. Volba materiálu ovšem závisí na důležitějších vlastnostech, než je vzhled přípravku.

1.3 HODNOTOVÁ ANALÝZA:

Jak již bylo zmíněno, konstrukce přípravku by měla splňovat požadavky, které se nacházejí v předchozí podkapitole Analýza požadovaných vlastností. Některé vlastnosti jsou ovšem více důležitější a některé méně. Abych při konstrukci dbal větší důraz na ty hlavní vlastnosti, vytvořil jsem tzv. hodnotovou analýzu. Ta spočívá v ohodnocení každé z výše uvedených vlastností známkou 1 až 5, přičemž známka 1 má nejmenší váhu důležitosti a známka 5 naopak největší. Na ohodnocení jsem se podílel já a dalších 9 kolegů, většinou se jednalo o vývojové inženýry z oddělení vývoje karosérií a montovaných dílů Škoda-Auto. U každé vlastnosti jsem poté pomocí aritmetického průměru určil výslednou známku a na základě této známky určil prioritu dané vlastnosti. Tato hodnotová analýza mi pomohla poskytnout nezávislý názor na problematiku i od odborníků.

Hodnocení jednotlivých uživatelů je uvedeno v následující tabulce. V předposledním sloupci je vidět průměrná známka a v posledním sloupci pořadí, přičemž na prvním místě je vlastnost v největší prioritou na posledním s nejnižší.

Výsledky hodnotové analýzy jsou následující:

Tab. 1 Hodnotová analýza požadovaných vlastností:

| Vlastnost | | Hodnocení | | | | | | | | | | | Pořadí |
|-----------|--|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-----|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | Ø | |
| 1 | Obtížnost instalace přípravku aparatury | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 4 |
| 2 | Zachování stávajících procesů měření | 5 | 4 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3,5 | 5 |
| 3 | Přístup k aparatuře | 5 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4,3 | 3 |
| 4 | Bezpečnost při měření | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 4,9 | 1 |
| 5 | Zamezení poškození příslušenství vozidla | 4 | 3 | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 1 | 4 | 4 | 3,2 | 8 |
| 6 | Odolnost vůči dynamickému zatížení | 5 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4,5 | 2 |
| 7 | Odolnost vůči teplotnímu zatížení | 4 | 2 | 3 | 4 | 4 | 2 | 2 | 3 | 4 | 3 | 3,1 | 9 |
| 8 | Životnost přípravku | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 5 | 3 | 5 | 3,4 | 7 |
| 9 | Tuhost přípravku | 4 | 2 | 2 | 4 | 3 | 3 | 3 | 5 | 4 | 5 | 3,5 | 5 |
| 10 | Hmotnost přípravku | 2 | 3 | 3 | 3 | 1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 5 | 2,7 | 11 |
| 11 | Design přípravku | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1,2 | 13 |
| 12 | Ekonomičnost výroby přípravku | 1 | 3 | 3 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1,8 | 12 |
| 13 | Rozměry | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 5 | 2,8 | 10 |

Jak je z tabulky vidět, největší nárok musí být kladen na bezpečnost při měření. Kromě jednoho hodnotícího hodnotili tuto vlastnost všichni známkou s nejvyšší prioritou. Další velmi důležitou vlastností je odolnost vůči dynamickému zatížení. Jak již bylo řečeno v kapitole 1.2.6., při měření dochází k značnému dynamickému zatížení a přípravek tak musí na něj být dostatečně dimenzován. Další důležité vlastnosti jsou přístup k aparatuře, obtížnost instalace, tuhost, zachování stávajících procesů a životnost přípravku. Na vlastnosti jako design přípravku, ekonomičnost výroby nebo hmotnost musí být brán ohled, ale nejsou prioritní nebo se nepředpokládá, že by daná vlastnost nabyla určitého extrému (např. rozměry nebo hmotnost).

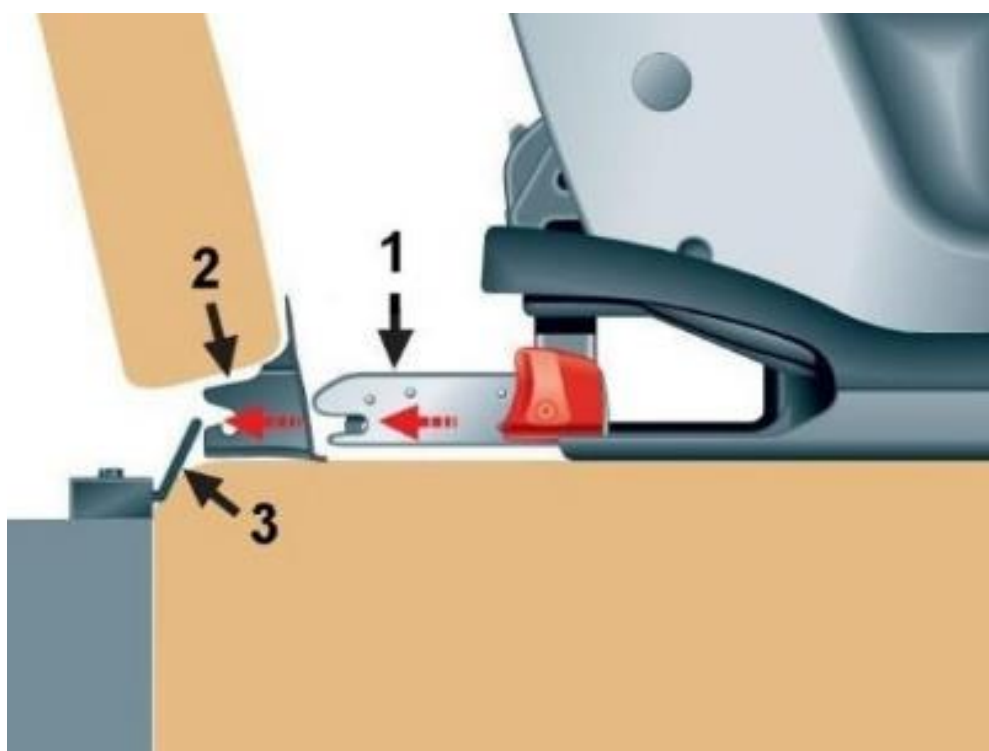
2 NÁVRHY KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ PŘÍPRAVKU:

Při samotném konstrukčním návrhu přípravku měřicí aparatury je důležité vybrat místo, kde bude přípravek spolu s aparaturou instalován. V této kapitole se proto budu věnovat možnými umístěními přípravku a následným vyhodnocením dle analýzy požadovaných vlastností, resp. hodnotové analýzy.

2.1 VYUŽITÍ BEZPEČNOSTNÍHO SYSTÉMU ISOFIX:

Systém ISOFIX je bezpečnostní prvek, který slouží k ukotvení dětské autosedačky s karosérií automobilu. Je standardizovaný a mezinárodně sjednocený dle normy ISO 13216. Spojení karosérie automobilu a dětské autosedačky je realizováno pomocí standardizovaných třmenů na sedačce a kotevních bodů na karosérii automobilu (viz. Obr. 6), které se z pravidla nacházejí v rohu na krajních oblastech sedadla automobilu (viz. Obr. 7). [5]

Systémem ISOFIX jsou prioritně vybaveny zadní sedadla. Jak je vidět v tabulce 2, všechny modely vozů Škoda jsou standardně vybaveny systémem ISOFIX na zadních sedadlech. Některé vyšší modely disponují systémem i na sedadle spolujezdce. Jedná se ovšem o příplatkovou výbavu. Zaměřím se tedy na použití na zadních sedadlech.



Obr. 6 Princip spojení autosedačky pomocí systému ISOFIX: 1- Pevný třmen autosedačky, 2- kotevní bod na sedadle automobilu, 3- kotevní hák spojený s karosérií [5]



Obr. 7 Umístění bezpečnostního systému ISOFIX na sedadle [5]

Tab. 2 Analýza vybavení vozidel Škoda systémem ISOFIX:

| Analýza vybavení modelů vozidel Škoda bezpečnostním systémem ISOFIX | | | | | | | |
|--|--------------------------------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|
| | Modelová řada automobilů Škoda | | | | | | |
| | Citigo | Fabia | Rapid | Octavia | Karoq | Kodiaq | Superb |
| Příprava pro uchycení dětské sedačky systémem ISOFIX na sedadle spolujezdce: | - | - | - | * | * | * | * |
| Příprava pro uchycení dětské sedačky systémem ISOFIX na zadních sedadlech: | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

Výhodou systému ISOFIX je především rychle a pevné ukotvení, což je velmi pozitivní pro konstrukci přípravku. Další výhodou je to, že aparatura, resp. aparatury by byly pevně umístěny na zadním sedadle, což má pozitivní vliv na bezpečnost posádky. Při případném nárazu vozidla a následném možném uvolnění aparatury nebo celého přípravku by nezasáhly řidiče ani spolujezdce. Jelikož je systém umístěn na spodní části sedadla, je vyloučeno, aby byli při případném nárazu pasažéři zasaženi do oblasti hlavy. Bezpečnost je tedy silnou stránkou tohoto konstrukčního návrhu. Co se týče únosnosti dynamického zatížení, tak systém ISOFIX je konstruován tak, aby odolával obrovskému zatížení, a přesahuje tak požadavky na konstrukci v oblasti dynamického zatížení. Síly, působící ve vertikálním směru by byly pohlceny rovnoměrně do sedadla. Při vhodné konstrukci kotvicích elementů přípravku by aparatura byla pevně uchycená. Dále by toto umístění disponovalo velmi dobrým přístupem. Jelikož by byl přípravek umístěn na sedadle, nebylo by při instalaci zapotřebí složitých pohybů. Přípravek by bylo možné umístit za řidičovo nebo za spolujezdcovo sedadlo. Obsluha by tedy měla s aparaturou dobrý vizuální kontakt.

Naopak nevýhodou tohoto řešení je, že při určitých jízdních zkouškách jsou používány zatěžovací figuríny, kterými jsou obsazena všechna místa na zadních sedadlech. Přípravek navíc nesmí být z důvodu zajištění odvětrávání aparatury zakryt. Nabízí se tedy myšlenka, že by byl přípravek konstruován tak, aby se do něj dala vložit závaží o celkové hmotnosti 75 kg a nahradila tak zatěžovací figurínu na místě umístění aparatury. Přípravek by bylo možné použít se zátěží i bez ní. Toto řešení by ovšem zvýšilo náklady a mělo negativní vliv na ekonomičnost výroby. Ta ale není ovšem prioritní vlastností.

2.2 UMÍSTĚNÍ NA PALUBNÍ DESKU:

Dalším návrhem pro umístění přípravku s měřicí aparaturou je palubní deska v oblasti spolujezdce. Síly by byly ve vertikálním směru přenášeny jednak na palubní desku a pomocí určité vzpěry na podlahu. V horizontálním směru by byly zajištěny pomocí přísavek za čelní sklo. Je ovšem nutné provést jejich výpočty. Některými výrobci jsou nabízeny přísavky, které mají kloub a dají se tak polohovat. To by vyřešilo problém, kdy každý model je na jiné platformě a tudíž i čelní sklo svírá jiný úhel s vodorovnou rovinou.



Obr. 8 Ukázka umístění přípravku na palubní desce u modelu Octavia [6]

Značnou výhodou tohoto konstrukčního řešení by bylo, že by z aparatury byl dobrý přístup. Spolujezdec, resp. obsluha měřicí aparatury, by měl celou sestavu nadosah. Dále by bylo možné přípravek konstrukčně navrhnout tak, aby do něj bylo mimo jiné možné upnout notebook a obsluha by jej pak nemusela mít na klíně.

Toto řešení přináší ovšem řadu nevýhod. Jednou z nich je požadavek na bezpečnost při měření. Přípravek s aparaturou musí být uchycen tak pevně, ale se při případném nárazu vozidla neuvolnil a nezranil tak posádku. Při umístění do oblasti palubní desky je malé množství pevných kotevních bodů. Přípravek by byl tedy uchycen hlavně díky přísavkami, což nezaručí tak pevné uchycení, jako např. při uchycení pomocí kotvících elementů do systému ISOFIX. Dále při případném uvolnění existuje velká pravděpodobnost, že by při uvolnění přípravku s aparaturou došlo ke kontaktu cestujících a mohlo by tak dojít k jejich zranění. Celý přípravek s aparaturou, resp. aparaturami, by zaujímal značnou část prostoru na palubní desce před spolujezdcem, což by mohlo omezovat řidiče ve výhledu z vozidla. Toto konstrukční řešení je tedy značně nevyhovující z hlediska bezpečnosti. Další věc je, že díky zabranému prostoru by toto řešení negativně ovlivňovalo komfort cestujícího, resp. obsluhy.

2.3 UMÍSTĚNÍ ZA PŘEDNÍ SEDADLO:

Toto řešení spočívá v umístění přípravku s měřicí aparaturou do prostoru za přední sedadlo, přičemž nezáleží na tom, jestli se jedná o sedadlo řidiče či spolujezdce. Myšlenka je taková, že by bylo využito kotevních bodů kolejnice pro polohování předního sedadla a úchyty hlavové opěrky.



Obr. 9 Ukázka umístění přípravku za předním sedadlem u modelu Kodiaq [7]

Není-li přední sedadlo posunuto maximálně v zadní poloze, jsou viditelné jeho polohovací kolejnice včetně šroubu, se kterým je spojena s karosérií. Toho by se dalo využít k montáži tzv. kotevního elementu, který by byl pomocí těchto šroubů spojen s karosérií automobilu. Na tento element by byl následně uchycen přípravek, který by byl z horní strany ukotven za rám hlavové opěrky. Přípravek by se tedy skládal ze dvou částí. To se zdá být jednodušší z hlediska montáže, protože by bylo manipulováno s méně rozměrnými elementy.



Obr. 10 Uchycovací šroub kolejnice předního sedadla [8]

Výhodou tohoto řešení je pevné ukotvení přípravku. To je velmi pozitivní i z hlediska bezpečnosti. V případě uvolnění nebo nárazu vozidla aparatura s přípravkem nepřijde do kontaktu s posádkou. Co se týče montáže přípravku, tak se jedná o relativně dobrý přístup. Složitější by byla pouze montáž tzv. kotevního elementu, kdy by se musely vyšroubovat a následně zašroubovat šrouby z kolejníc. Za předními sedadly je navíc u všech modelů dostatek místa, tudíž by nedocházelo ke kolizi s případným použitím zatěžovacích figurín. Toto umístění tedy neblokuje žádný funkční prostor ani výhled z vozidla.

Nevýhodou tohoto umístění je, že je potřeba demontovat a následně montovat kvůli uchycení kotevního elementu šrouby kolejníc. Montáž by ale neměla být časově náročná. Měla by zabrat cca 3 minuty. Dále by se přípravek skládal ze dvou kusů. Dle mého názoru by bylo z hlediska instalace jednodušší, kdyby je nejdříve namontoval menší kotevní element do kolejníc a následně se do něj a do rámu hlavové opěrky upevnil přípravek pro uchycení měřící aparatury, než kdyby se přípravek skládal z jednoho většího kusu. Další nevýhodou je, že řešení ukotvení za rám hlavové opěrky by nebylo možné u modelů Octavia RS a Superb Sportline, protože tyto modely využívají skořepinové sedadla bez hlavové opěrky. Ovšem tyto modely lze konfigurovat v jiných výbavových stupních, kde se klasické hlavové opěrky nacházejí. Po

dohodě se zadavatelem by toto řešení bylo možné, pokud by přípravek bylo možné použít u alespoň 95 % případů. V ostatních případech by měření, resp. uchycení aparatury, probíhalo stejně jako doposud.

2.4 UMÍSTĚNÍ DO ZAVAZADLOVÉHO PROSTORU:

Dalším umístěním, které se nabízí, v interiéru automobilu je zavazadlový prostor. V zavazadlovém prostoru je spousta kotevních bodů. Nabízí se i myšlenka, jako u předchozí kapitoly, a to, že přípravek bude umístěn za zadní sedadlo a bude upnut za rám hlavové opěrky zadního sedadla. Jako druhé kotevní body by se daly použít např. úchyty pro sítky nebo kotevní bod Top Tether, což je další bod pro uchycení dětské sedačky doplňující systém ISOFIX a u vozů Škoda se zpravidla nachází na zadní straně zadní sedačky (viz. Obr. 11).



Obr. 11 Uchycovací bod Top Tether u modelu Superb [9]

Výhodou tohoto řešení je, že v zavazadlovém prostoru je dostatek volného místa. Nedochozí by tedy k žádným kolizím. Z hlediska bezpečnosti je umístění taktéž vyhovující. V případě kolize vozidla nebo uvolnění přípravku, popř. aparatury, by nedošlo ke kontaktu s posádkou vozu a následnému zranění vlivem měřicí aparatury. Dále by zde bylo možné konstruovat přípravek jako jeden kus.

Naopak nevýhodou by bylo, že obsluha aparatury by s ní neměla vizuální kontakt. Dále celá konstrukce by musela být více sofistikovaná, protože kotevní body Top Tether se nacházejí přibližně v polovině výšky sedadel. U předchozího případu se kotevní body nacházejí v horním a spodním bodě přípravku a to je rozhodně pozitivnější z hlediska řešení přenosu vibrační a tuhosti přípravku.

2.5 DALŠÍ MOŽNÁ UMÍSTĚNÍ:

Existují další místa, kde by se přípravek s aparaturou dal umístit, např. loketní opěrka, apod. Řešením těchto míst jsem se více nezabýval, protože jsou značně nevyhovující z důvodů nedostatku místa, kolizi s funkčním prostorem, náročnosti montáže nebo nutnosti větší demontáže příslušenství interiéru vozu.

3 KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU:

Na základě vyhodnocení konstrukčních návrhů a následné dohody se zadavatelem jsem se rozhodl umístit přípravek s měřicí aparaturou do prostoru mezi přední a zadní sedadlo. Toto umístění se ukázalo jako nejvíce vyhovující z hlediska prostoru a bezpečnosti. Vytvořil jsem tedy 2 konstrukční návrhy, které byly prezentovány zadavateli a po následné konzultaci byl vybrán jeden návrh. Ten byl potom patřičně modifikován a vylepšován.

3.1 KONSTRUKČNÍ NÁVRH 1:

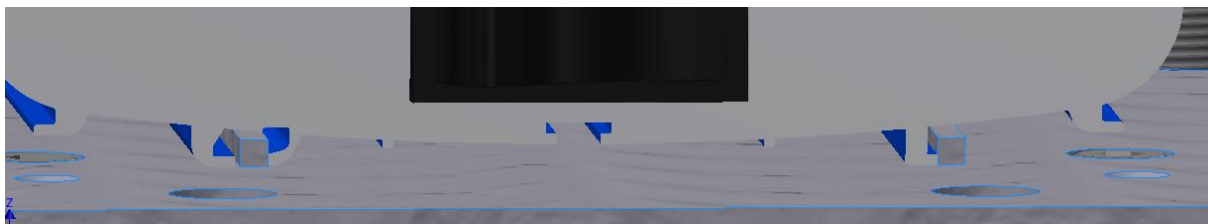


Obr. 12 Celkový pohled na konstrukční návrh č.1

Jak je vidět na obr. 12, přípravek je uchycen za kolejnice předního sedadla pomocí jejich kotevních šroubů. Je tedy potřeba, aby při instalaci přípravku byly demontovány a následně po nasunutí první části přípravku namontovány zpět. Šrouby jsou však po posunutí předního sedadla dobře přístupné a celý proces by neměl být časově náročný. Následně je přípravek pomocí horního utahovacího mechanismu, který je spojen s hlavovou opěrkou, upevněn z horní části. Do přípravku lze upnout až celkem 3 měřicí aparatury IMC.

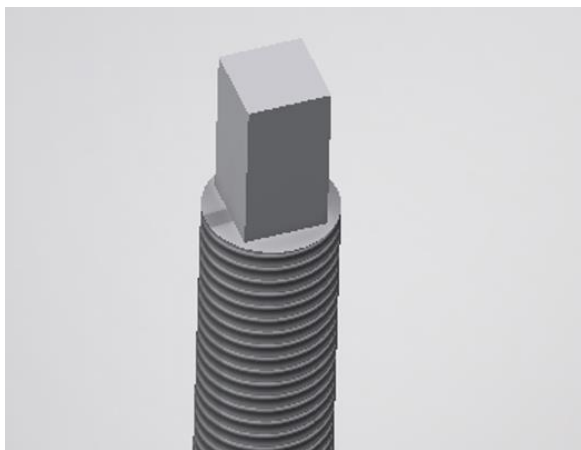
3.1.1 RÁM PŘÍPRAVKU:

Rám přípravku je konstruován pomocí dvou bočních ocelových elementů (viz. obr. 15), které by byly vyrobeny technologií ohýbání plechu a na bocích navařen úzký plech, kde jsou taktéž navařeny závity sloužící pro uchycení příčníků, které zabrání posuvům aparatury v příčném směru (ve směru jízdy). Oba boční elementy jsou spojeny pomocí dolní a horní základní desky. Spojení jednotlivých částí je zajištěno pomocí zápusťných šroubů a matic M6. Na dolní základní desce jsou vyfrézovány kolejnice, které slouží k zamezení pohybu aparatury v podélném směru (viz. obr. 13). Výška kolejnice je 2,5 mm, šířka 2,5 mm a rozteč 61,5 mm. Rozměry jsou tedy kompatibilní s rozměry kolejnic měřicí aparatury IMC.

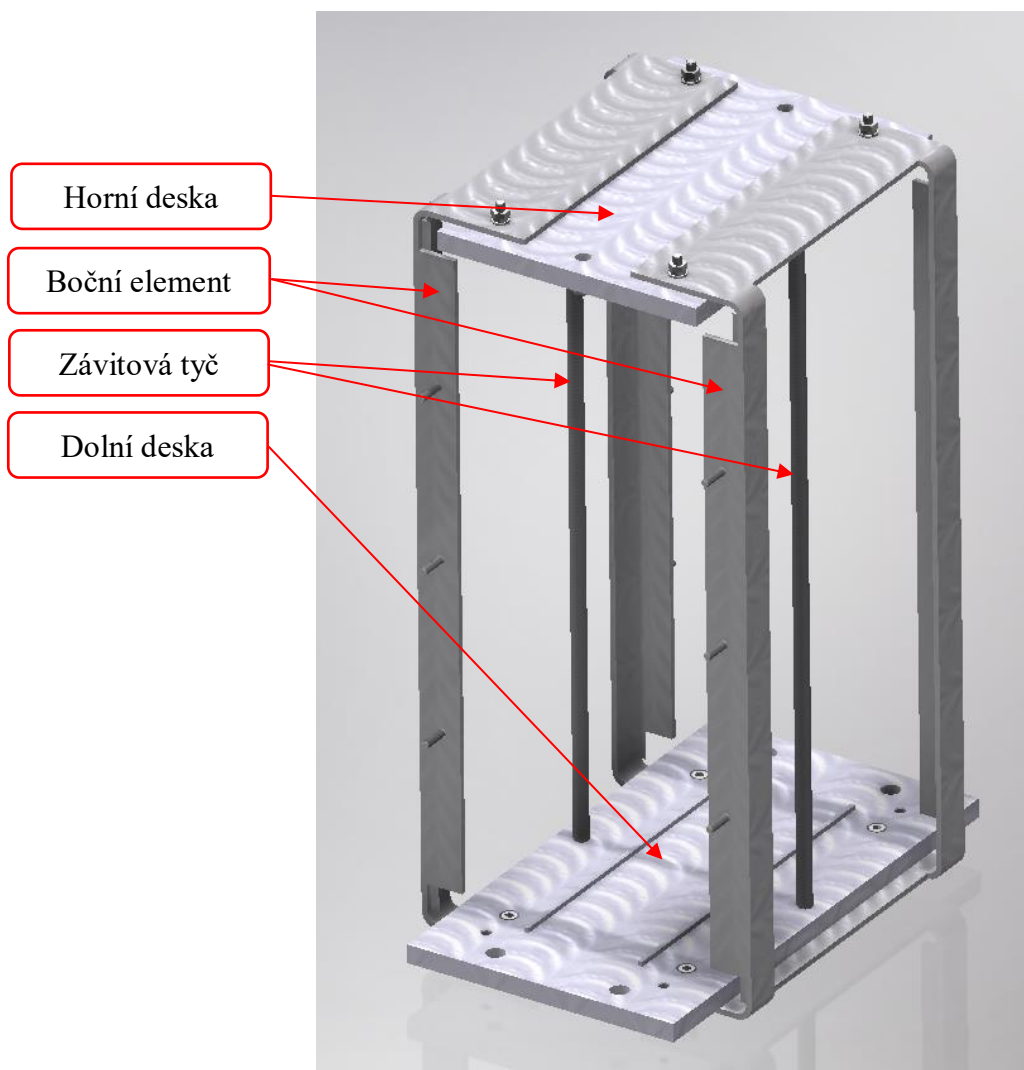


Obr. 13 Detail zamezení posuvu v příčném směru pomocí kolejnic dolní základní desky a kolejnic aparatury IMC

Na dolní desce jsou taktéž vyvrtány jednak závity M6, které slouží k uchycení dolního příčníku, který slouží k zamezení příčného pohybu aparatury a otvory o průměru 8,5 mm, které slouží ke spojení s kotevním elementem pomocí šroubů a matic M8. Dolní a horní základní deska je navíc spojena pomocí dvou závitových tyčí a průměru M8, které slouží k dotažení horní přítlačné desky a zamezí tak aparaturám v posuvu ve svislém směru. Na koncích závitové tyče je navíc vyfrézováno čtvercové vybrání, které zabraňuje protáčení tyče při dotahování (viz. obr. 14).



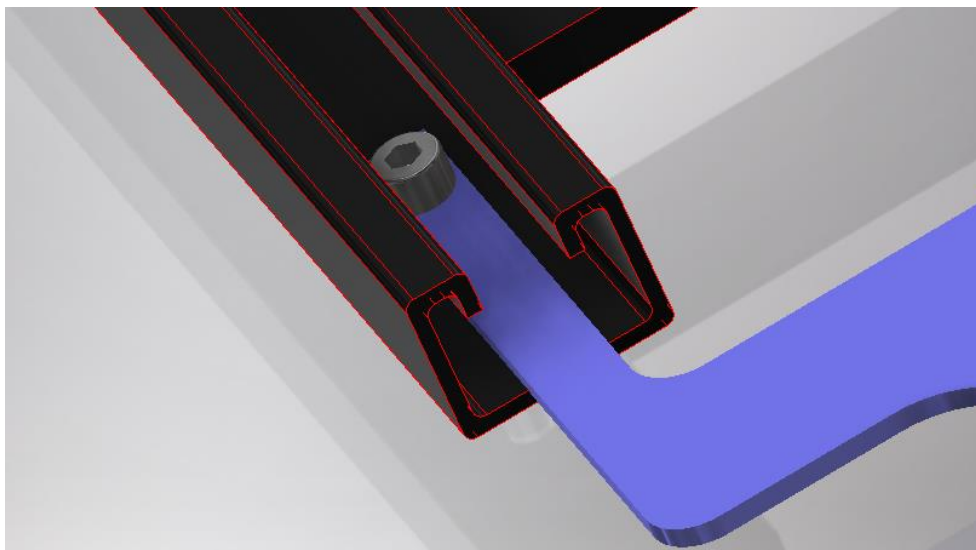
Obr. 14 Čtvercové vybrání na koncích závitové tyče zabraňující v protáčení



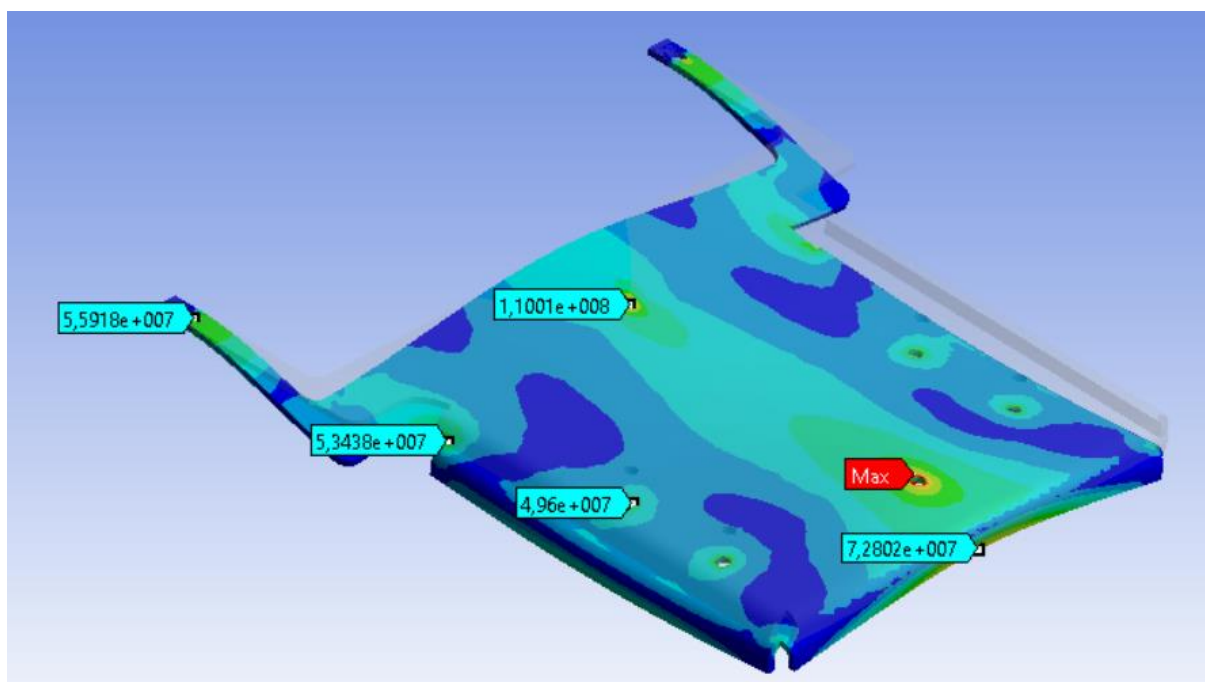
Obr. 15 Celkový pohled na rám přípravku

3.1.2 UCHYCENÍ PŘÍPRAVKU V INTERIÉRU VOZIDLA:

Rám přípravku je uchycen ze spodní strany pomocí čtyř šroubů a matic M8 ke kotevnímu elementu, který je spojen pomocí dvou šroubů s kolejnicemi předního sedadla (viz. obr. 16), které slouží ke spojení této kolejnice s karosérií automobilu. Ze spodní strany kotevního elementu jsou umístěny výškově stavitelné patky, které se opírají s podlahu. Tyto patky jsou výškově stavitelné z toho důvodu, že různé modelové řady automobilů Škoda mají odlišnou výšku kolejnic předních sedadel od podlahy. Navíc slouží také jako podpora ve svislém směru a eliminují tak ohybové napětí v místě spojení s kolejnicí. Tento kotevní element je ve stádiu návrhu a slouží k ilustraci a prezentaci návrhu zadavateli. V další fázi by byl patřičně tvarově a rozměrově modifikován tak, aby bylo možné jej použít ve více modelových řadách vozů Škoda a aby v pevnostně nebezpečných místech bylo sníženo napětí, popřípadě aby byla snížena jeho hmotnost. Simulace statického zatížení, odpovídající maximálnímu provoznímu zatížení, je zobrazena na obr. 17. Simulace byla provedena pomocí software ANSYS Workbench v. 18.1.



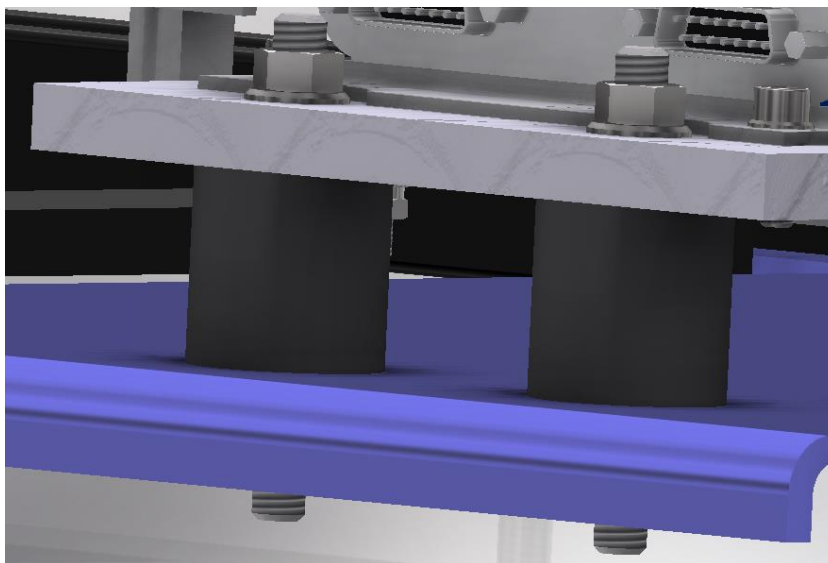
Obr. 16 Spojení kotevního elementu s kolejnicí předního sedadla



Obr. 17 Analýza statického zatížení při maximálním provozním zatížení

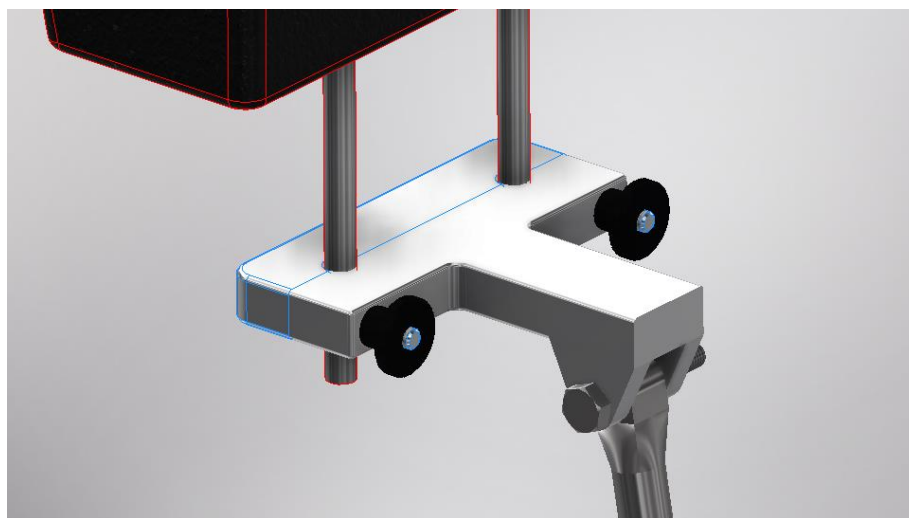
Z analýzy statického zatížení vyplívá, že napětí na součásti není nadměrně vysoké. Maximální napětí je 148 MPa a vyskytuje se v místech, kde jsou upevněny stavěcí patky. V ostatních nebezpečných místech se hodnota napětí pohybuje v rozmezí 50 – 75 MPa. Maximální posuv elastické deformace činí 0,48 mm. Jako polotovár, pro výrobu kotevního elementu je navržen ocelový plech s mezí kluzu okolo 450 MPa. Hodnota koeficientu bezpečnosti tedy činí 3,04. Přesto je v případě použití tohoto návrhu potřeba součást patřičně tvarově modifikovat.

Pro uchycení kotevního elementu s rámem přípravku byly použity normalizované silentbloky typu A o maximálním průměru 40 mm a průměru šroubů M8 (viz. obr. 18). Tyto silentbloky byly použity z důvodu eliminace vibrací, přenášených z karosérie vozidla na rám přípravku. Nutnost použití těchto silentbloků by byla prověřena případnou harmonickou analýzou.



Obr. 18 Umístění silentbloků mezi kotevní element a rám přípravku

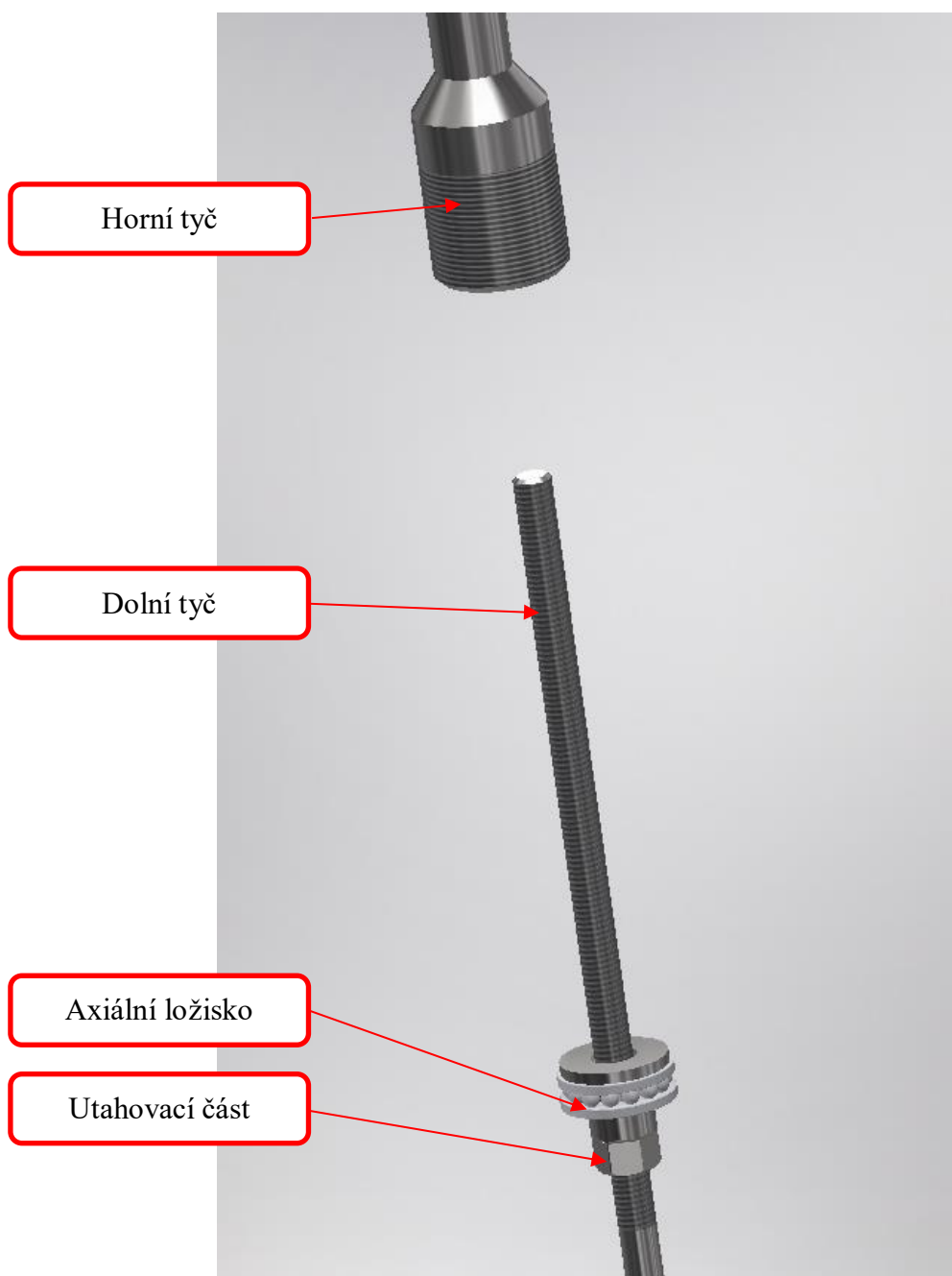
K fixaci horní strany rámu přípravku je použit stahovací element, který je spojen s hlavovou opěrkou (viz. obr. 19). Toto řešení lze bohužel použít pouze u modelů, resp. u výbavových tříd, kde je výškově nastavitelná hlavová opěrka předních sedadel. Nelze tedy použít např. u modelu Octavia RS nebo u modelu Superb s výbavovým stupněm Sportline. Ovšem všechny modely disponují takovým výbavovým stupněm, kde je použita tato výškově nastavitelná hlavová opěrka.



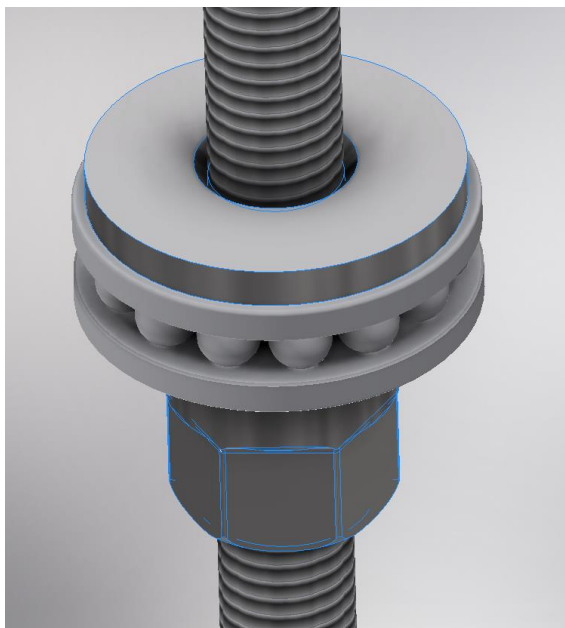
Obr. 19 Uchycení stahovacího elementu s hlavovou opěrkou

Výhodou je, že u všech modelů Škoda (vybavených s výškově nastavitelnou hlavovou opěrkou) je hlavová opěrka se stejným průměrem a roztečí vodících tyčí. Proto byl použit pro upnutí univerzální dvoudílný uchycovací systém, které je spojen pomocí drážkovaných matic. Na druhém konci je spojen pomocí šroubu M8 s utahovacím mechanismem. Samotný utahovací element se skládá z horní a dolní tyče, skeletu, utahovací části a axiálního ložiska. Pro konstrukci skeletu byla použita normalizovaná tyč ČSN 42 5715.01 o vnějším průměru 40 mm, tloušťce stěny 3,2 mm a materiálu 11 353 (tepelně nezpracovaná ocel). Na jednom konci je vyvrtán levotočivý závit M35 pro spojení skeletu s horní tyčí. Levotočivý závit byl použit

z důvodu zamezení povolení spoje v tomto místě při utahování na druhém konci. Na druhém konci skeletu je přivařena část, která sníží průměr otvoru na 20 mm. Tímto otvorem je prostrčena utahovací část, která má ve své ose vyvrtán závit o průměru M10 (viz. obr. 22). Na jednom konci utahovacího elementu je vyfrézováno vybrání pro klíč o rozteči 17 mm, na druhém konci má větší průměr o hodnotě 32 mm a ve středu konstantní průměr 18 mm. Středem tohoto elementu prochází dolní tyč, kde se nachází závit o průměru M10. Pootočením utahovacího elementu pak dochází k sevření horní části rámu přípravku s hlavovou opěrkou. Z důvodu snížení tření mezi utahovacím elementem a skeletem bylo použito axiální ložisko. Tento problém šel taky vyřešit použitím mazacího tuku. V tom případě by ale mohlo dojít ke znečištění mimo jiné i interiéru automobilu. Celý mechanismus bez skeletu je ilustrován na obr. 20.



Obr. 20 Vnitřní část utahovacího mechanismu

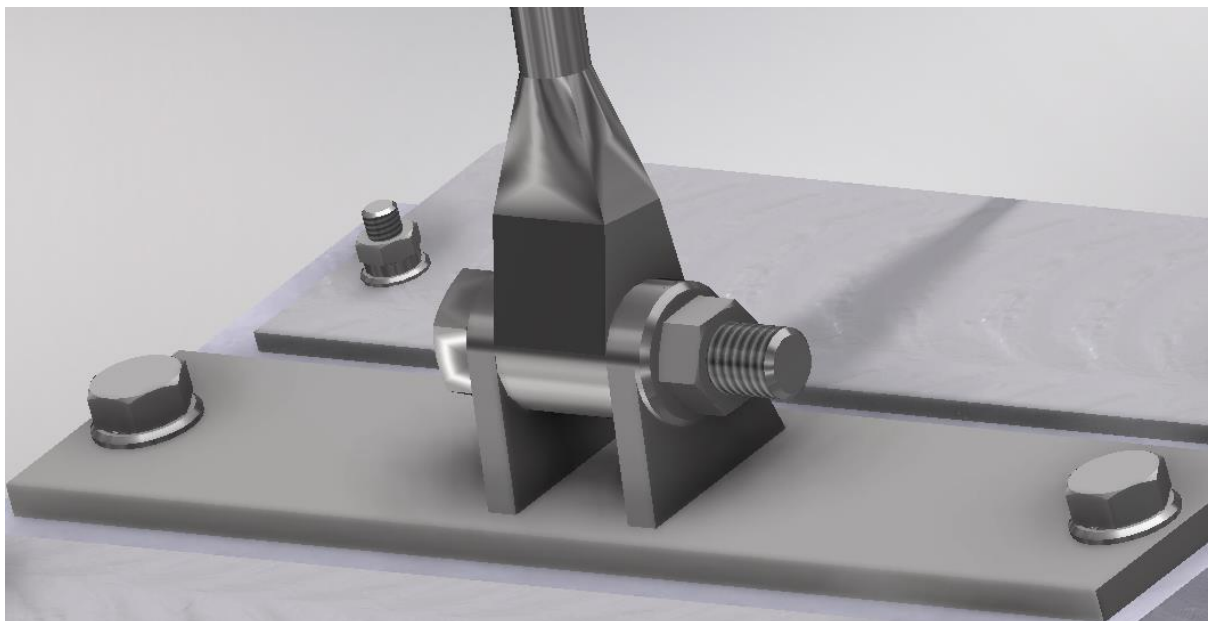


Obr. 21 Detail utahovacího elementu s axiálním ložiskem



Obr. 22 Detail spodní části skeletu

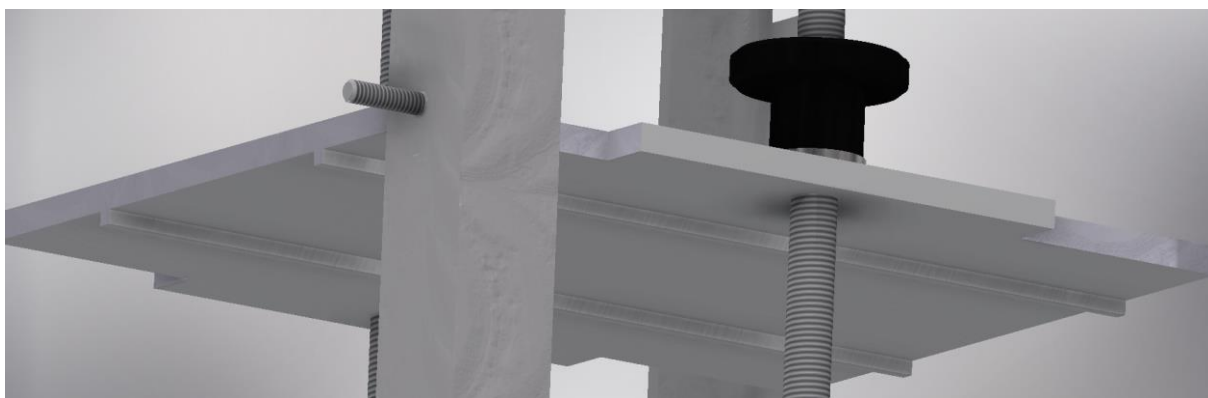
Celý utahovací element je pak na spodní části spojen pomocí spojovacího členu s horní části rámu. Spojovací člen je s utahovacím elementem spojen pomocí šroubu a matice M10 a díky přiměřené vůli umožňuje rotaci v příčné ose (ve směru jízdy). Spojení s horní části rámu je pak zajištěno pomocí dvojice šroubů a matic M8 (viz. obr. 23). Oka s otvorem, kde je pomocí šroubu a matice spojen spojovací člen s utahovacím elementem, jsou navařena se základní deskou spojovacího členu koutovým svarem. Jako materiál pro konstrukci utahovacího elementu a spojovacího členu je navržena ocel třídy 11, která má dostatečné materiálové vlastnosti pro tuto aplikaci. Na základě případných analýz by byly učiněny případné modifikace v oblasti volby materiálu a samotné konstrukce.



Obr. 23 Spojení utahovacího elementu s horní části rámu přípravku

3.1.3 UCHYCENÍ MĚŘÍCÍ APARATURY V RÁMU PŘÍPRAVKU:

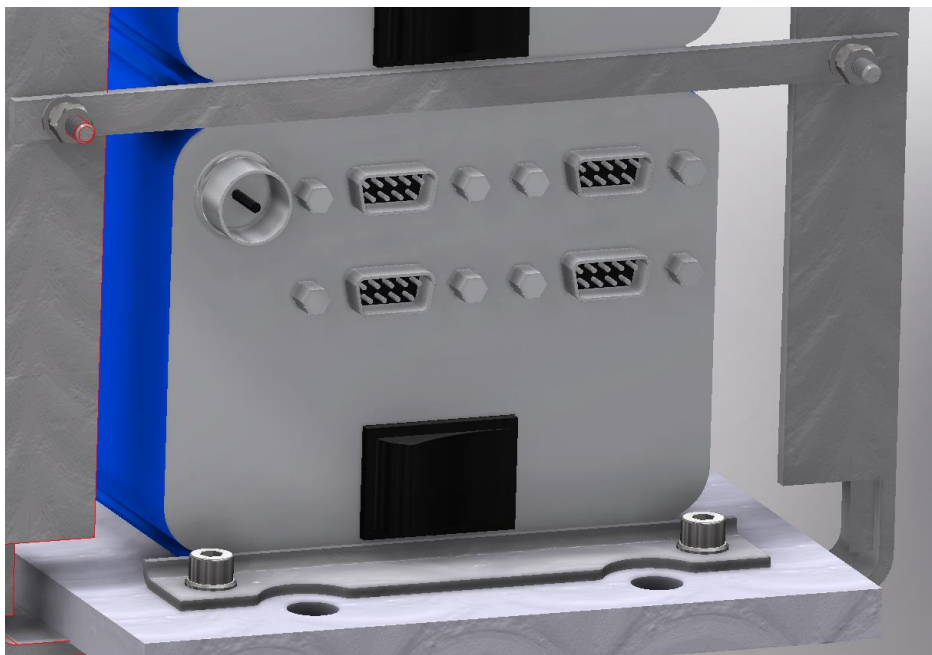
Jak již bylo zmíněno, zamezení posuvu v přímém směru je díky kolejničím na dolní základní desce a kolejničím na aparatuře (viz. obr. 14). Kolejnice na obalu aparatury jsou také konstruovány tak, aby bylo možné jednotlivé aparatury spojit a umožňují tak pohyb pouze v příčném směru. Obdobné kolejnice jsou také vyfrézovány na horní přitlačné desce, která pomocí závitových tyčí a křídlové (popř. drážkové) matice jednotlivé aparatury sevře ve svislém směru (viz. obr. 24).



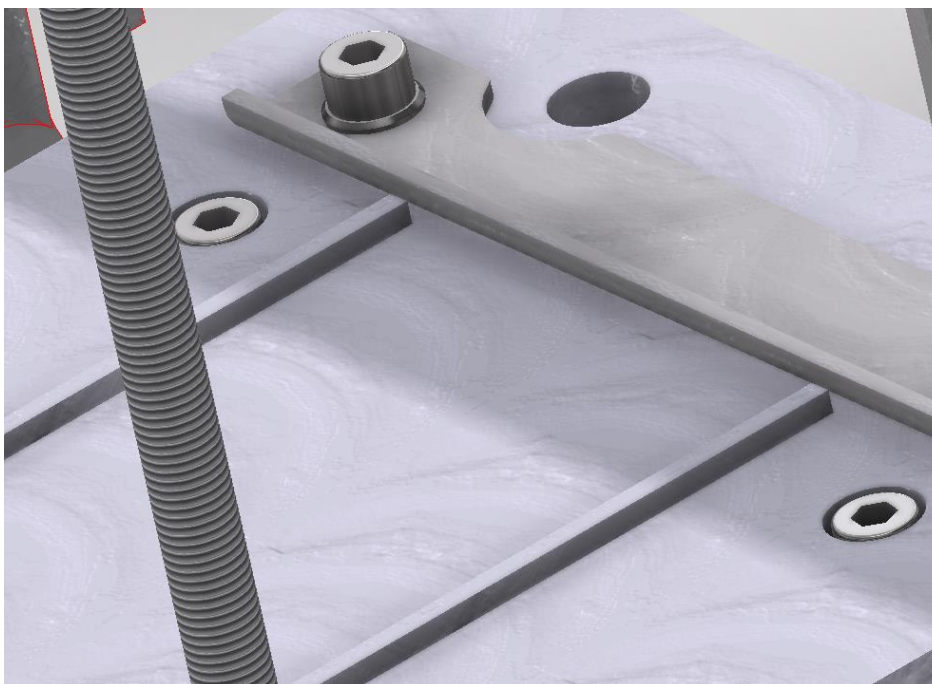
Obr. 24 Horní přitlačná deska

Díky plné délce závitů na závitové tyči lze libovolně nastavit výšku horní přitlačné desky. Přípravek tedy díky tomu umožňuje uchycení jedné, dvou nebo tří měřících aparatur. Rozměry a rozteč kolejnič na horní přitlačné desce jsou totožné s rozměry kolejnič na dolní základní desce.

V příčném směru zamezují pohybu boční příčníky (viz. obr. 26), které jsou pomocí matice spojeny s rámem. Jako polotovary je navržen plech o tloušťce 2 mm a výška příčníku je 8 mm. Ta je volena s ohledem na to, aby nedošlo ke kontaktu příčníku s konektorem nebo tlačítkem na aparatuře. Na dolní základní desce je na obou stranách pomocí dvojice šroubů M6 upevněn spodní příčník (viz. obr. 25). Ten je taktéž vyroben z ocelového plechu o tloušťce 2 mm a výška jeho ohnutého konce je 5 mm. Na spodním příčníku je taktéž vybrání pro šrouby uchycující rám přípravku s kotevním elementem.



Obr. 25 Boční příčníky



Obr. 26 Detail uchycení spodního příčníku na dolní základní desce

3.1.4 ZHODNOCENÍ 1. KONSTRUKČNÍHO NÁVRHU:

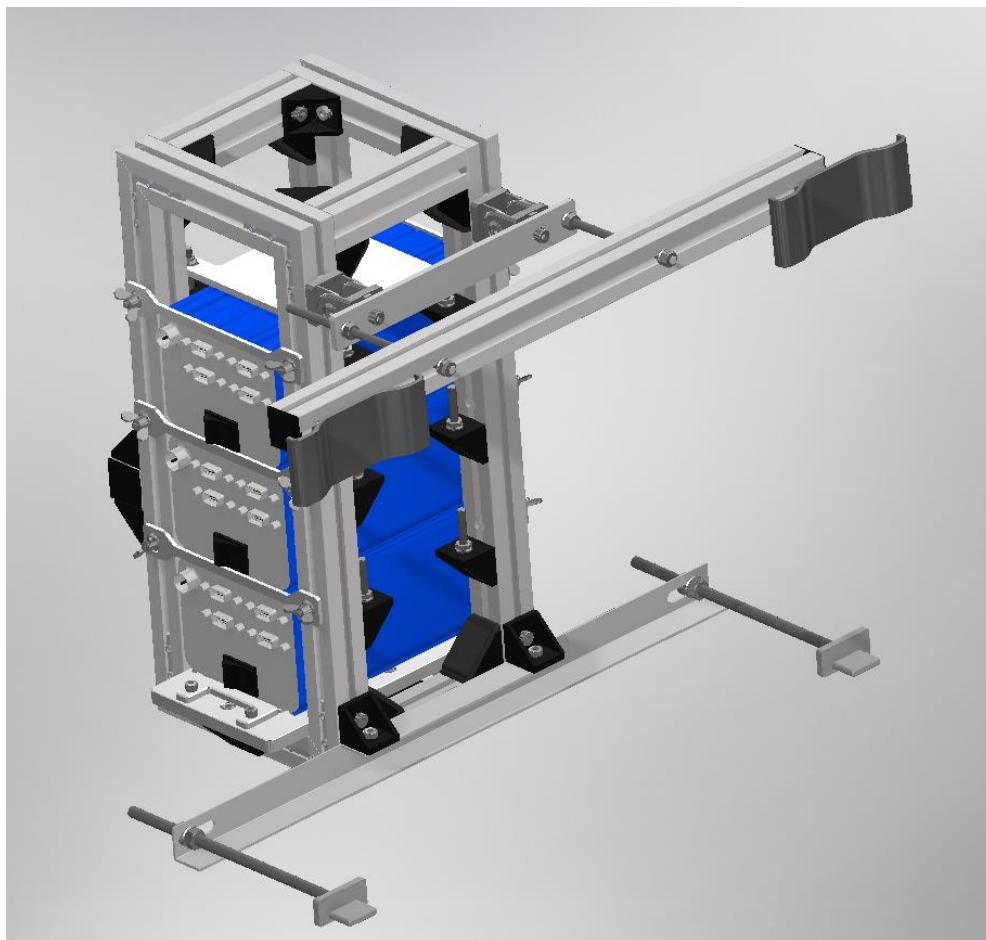
Jak již bylo zmíněno, jedná se pouze o návrh. K jeho realizaci by bylo zapotřebí mnoha modifikací a analýz z hlediska pevnostních a vibračních. Celý přípravek se všemi komponenty bez měřících aparatur má hmotnost 17,02 kg. Při umístění tří aparatur je celková hmotnost 22,42 kg. Je to dáno tím, že byly použity převážně ocelové součásti. Použitím hliníkových součástí by vedlo ke snížení hmotnosti. Jelikož se přípravek nebude vyrábět sériově, nemělo by to z ekonomického hlediska zásadní vliv. Dále by bylo vhodné modifikovat kotevní element a celkově systém uchycení ve spodní části. Došlo by tak taktéž ke snížení hmotnosti a především ke zkrácení času, potřebného pro jeho instalaci. Uchycení v horní části je ukázalo taktéž jako krajně nevhodné. Při přitažení horní části přípravku by docházelo k odlehčení spodní části, což by mělo negativní vliv na přenos vibrací od karosérie vozu. Horní utahovací element má poměrně velkou rozteč krajních bodů, za které je spojen s okolními součástmi. To by se tako negativně projevovalo z hlediska kmitání. Za vhodné bych považoval modifikovat utahovací mechanismus ve svislém směru. Hodlám nehradit závitové tyče, které jsou v plné výšce rámu, jiným mechanismem. Jeden z důvodů modifikace je to, že díky závitů mohou být tyče ostré a při instalaci aparatury by tak mohlo dojít ke zranění obsluhy.

Co se týče samotného umístění a upevnění aparatur v samotném rámu přípravku, tak se toto řešení jeví jako přijatelné a není zapotřebí jej principiálně modifikovat. Aparatury jsou v rámu pevně sevřeny. V příčném směru je dostatek prostoru pro instalaci konektorů a jejich případnou manipulaci. Měřící aparatury nejsou navíc nijak výrazně zakryty a jsou tedy dostatečně odvětrávány, což byla jedna z podmínek.

Na základě výše uvedených poznatků jsem se rozhodl pro další konstrukční návrh, který bude porovnán a na základě výsledku bude rozhodnuto, který návrh se bude realizovat, simulovat MKP analýzou a následně modifikovat.

3.2 KONSTRUKČNÍ NÁVRH 2:

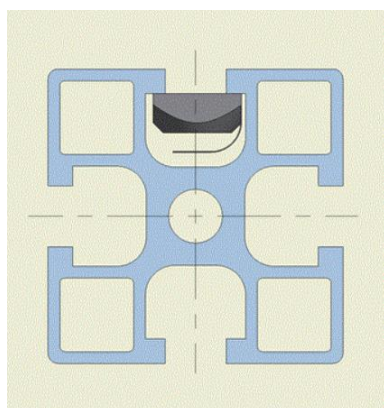
2. konstrukční návrh byl značně modifikován. Velká část ocelových součástí byla nahrazena hliníkovými, což mělo vést především ke snížení hmotnosti celého přípravku. Z velké části byly pro konstrukci použity stavebnicové hliníkové profily od společnosti Alutec KK, což vedlo k usnadnění samotného konstrukčního provedení. Uchycení měřících aparatur v rámu přípravku zůstalo principiálně zachováno, bylo pouze modifikováno. Změnilo se ale upevnění celého přípravku v interiéru vozidla. Nyní není zapotřebí demontovat šrouby kolejnic. Celý přípravek je na dolní a horní části vybaven rozpěrným mechanismem a opírá se o celkem 3 body v prostoru mezi přední a zadní sedadlo. Umístění přípravku tedy zůstalo zachováno stejně, jako u předchozího návrhu. Díky této modifikaci dojde ke zkrácení času, potřebného pro instalaci přípravku do interiéru automobilu. Nebude zapotřebí nic demontovat a celý přípravek je instalován jako jednotný kus, nikoliv jako u předchozího návrhu, kdy bylo zapotřebí nejdříve namontovat do kolejnic kotevní element, následně na něj rám přípravku a ten pomocí stahovacího mechanismu zafixovat o hlavovou opěru. Podrobnější popisy jednotlivých částí konstrukce se nacházejí v následujících podkapitolách.



Obr. 27 Celkový pohled na 2. konstrukční návrh

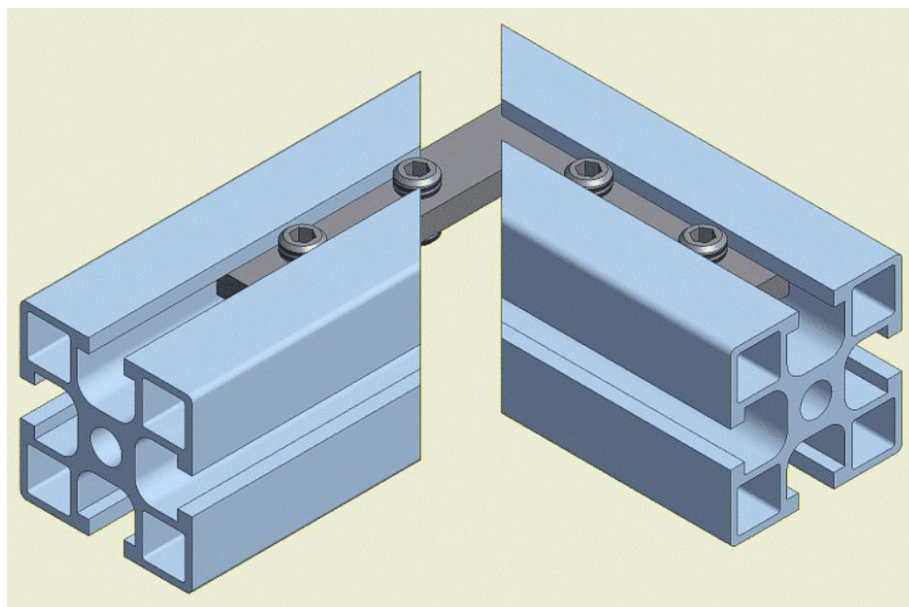
3.2.1 RÁM PŘÍPRAVKU:

Jak již bylo zmíněno, pro konstrukci rámu byly použity hliníkové stavebnicové profily od společnosti Alutec KK. Konkrétně se jedná o profily s rozměry průřezu 30x30 mm, č. 103030. Značnou výhodou byla kompatibilita s velkým množstvím ostatních součástí, které tato společnost pro sestavení konstrukcí nabízí. Jednak se jedná o použití více typů fixačních úhelníků, ale také čtvercových matic, které jsou vybaveny pružinkou a usnadní tak montáž. Průřez použitého profilu a aplikací zmíněné matice je ilustrován na obr. 28. [10]



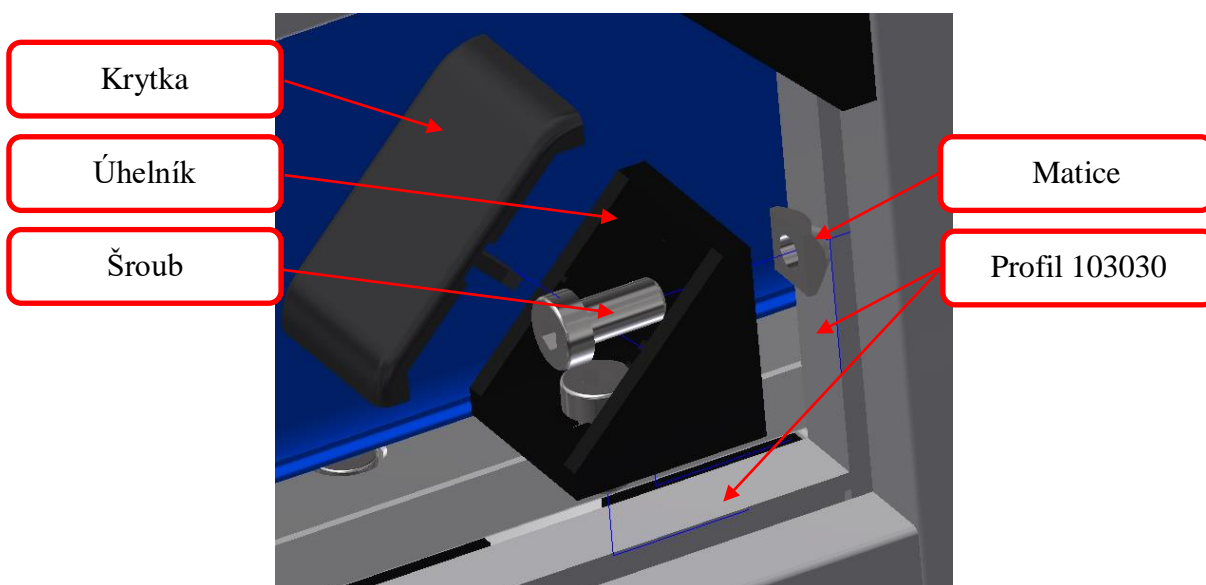
Obr. 28 Průřez použitého profilu 103030 s použitím čtvercové matice [10]

Pro fixaci jednotlivých profilů byly použity celkem 3 typy fixačních úhelníků. Z boční strany (ve směru jízdy) jsou použity fixační úhelníky č.321290. Ukázka použití je ilustrována na obr. 29. Důvodem použití těchto úhelníků byla, že díky vkládání úhelníku přímo do profilů dojde ke značné úspoře místa. Aparatury jsou do přípravku vkládány právě u boční strany a použití těchto úhelníků neblokuje prostor při vkládání. Materiál těchto typů úhelníků je zinkovaná ocel. Pro použití těchto úhelníků ale musí být konce profilů řezány pod úhlem 45°.



Obr. 29 Ukázka použití fixačního úhelníku 321290 [10]

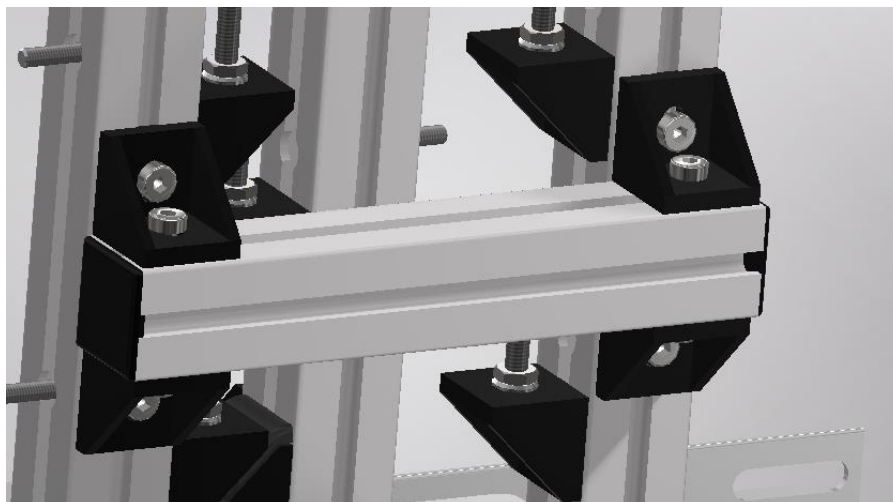
Pro fixaci podélných profilů byly použity fixační úhelníky č. 302828.1. Tento úhelník je s profily spojen díky šroubům a čtvercovým maticím o průměru závitů M6 (viz. obr. 30). Tyto úhelníky jsou vyrobeny z hliníku, přičemž koeficient součinitele dynamického tření při použití materiálů hliník-hliník je 1,4. Díky tomu je zajištěno pevné sevření profilů a úhelníku. Pro tento typ úhelníku lze použít i plastová krytka šroubů. [10], [11]



Obr. 30 Ukázka použití fixačního úhelníku 302828.1

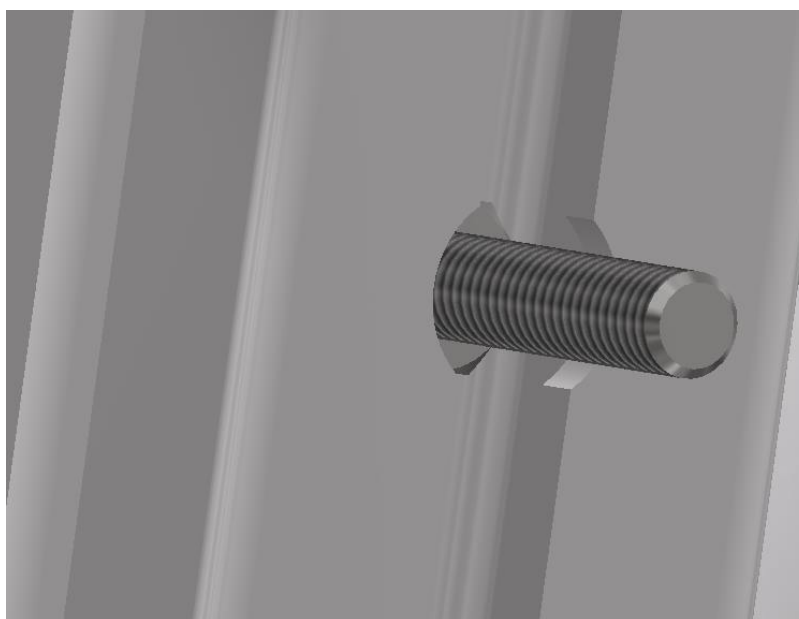
Jelikož jsou tyto typy úhelníků vybaveny výstupkem, který zapadá do drážky profilu, nelze jej použít pro aplikace, kdy je úhelník otočen o 90°. Z toho důvodu byl použit pro tyto aplikace třetí typ úhelníku č. 302828. Rozměry a materiál tohoto úhelníku jsou totožné s předchozím typem. Tento typ byl používán pro upevnění ostatních součástí k rámu, resp. profilů.

Na zadní části rámu (tj. část, směřující k zadní části vozu) je umístěn ve výšce 150 mm příčník z totožného profilu, který slouží k zapření zadní části přípravku o plochu pod zadní sedadlo (viz. obr. 31). Na bocích profilu jsou umístěny plastové záslepky, které slouží jako designový prvek.



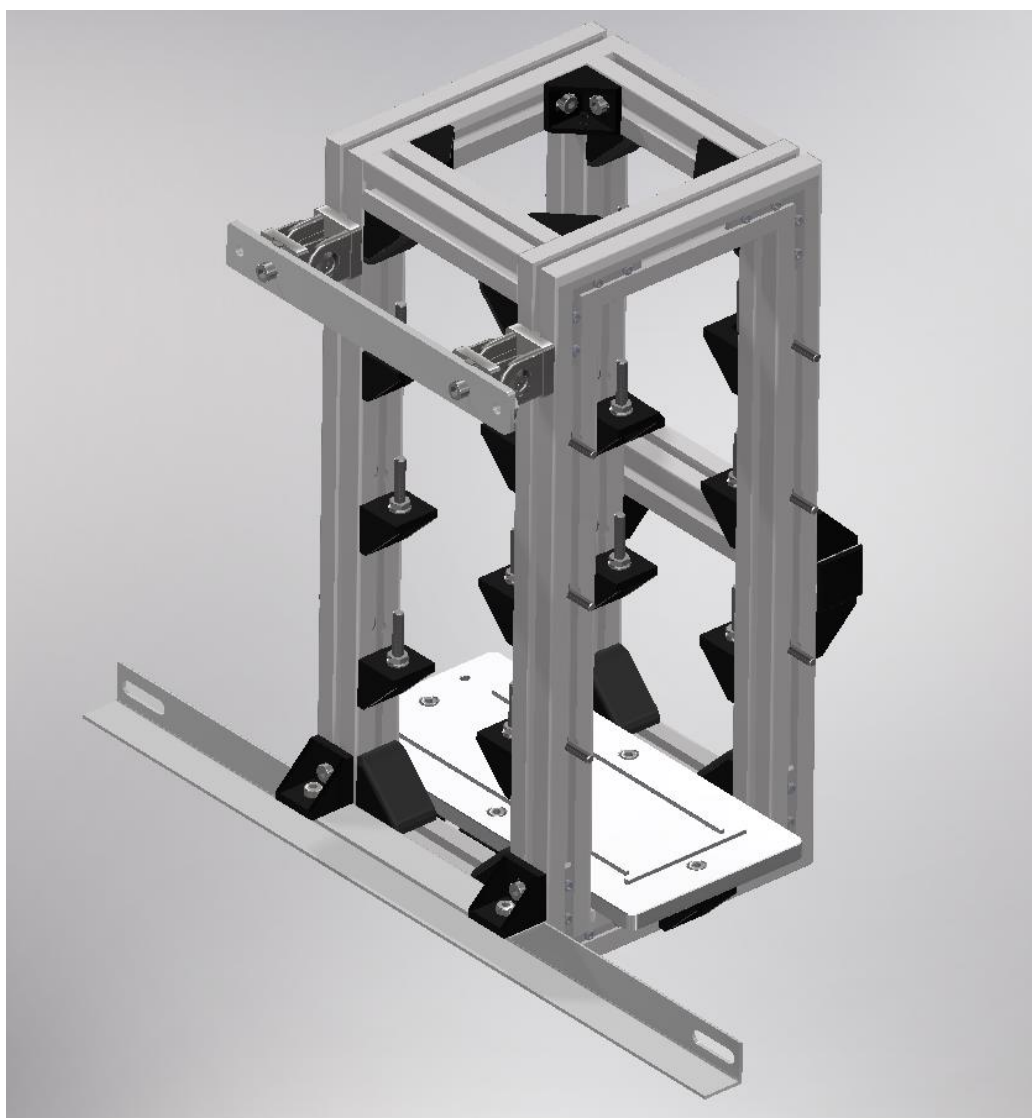
Obr. 31 Doraz zadní části přípravku

Na bočních stranách rámu jsou obdobně jako u předchozího návrhu umístěny šrouby pro uchycení příčníků, zabraňujících příčnému posuvu měřících aparatur. V tomto případě nejsou přivařeny, ale jedná se o šrouby DIN EN ISO 1207 M5x35, které jsou pomocí matic ČSN EN 24035 M5 připevněny v navrtaných otvorech v bočních profilech (viz obr. 32).



Obr. 32 Detail šroubu DIN EN ISO 1207 M5x35 pro uchycení bočních příčníků

Dále byly oproti předchozímu návrhu závitové tyče, sloužící pro utažení horní přítlačné desky, nahrazeny fixačními úhelníky a šrouby ČSN EN 24017 M6x35, které jsou k úhelníku připevněny pomocí matice ČSN EN 24035 M6 a podložky ČSN 02 1702. Úhelníky se šrouby jsou umístěny v takové výšce, aby bylo možné na ně umístit horní přítlačnou desku při umístění jedné, dvou nebo tří aparatur. Výška prvního úhelníku od spodní části rámu je 115 mm a rozteč mezi následujícími je 91 mm. Na přední straně (ve směru jízdy) se nacházejí elementy pro uchycení rozpěrného mechanismu. Na spodní straně je pomocí fixačních úhelníků umístěn hliníkový příčník, který je vyroben z profilu U 25x25x3 mm dle normy EN 573-3 AW 6060 EN 755-1,2,9. Na horní straně přední části rámu je umístěn hliníkový příčník o tloušťce 5 mm, který je s rámem spojen pomocí kloubových spojů společnosti Alutec KK č. 323030. Celému popisu rozpěrných mechanismů se budu věnovat v následující kapitole. Celkový pohled na kompletní rám je na obr. 33. [12]



Obr. 33 Pohled na kompletní rám

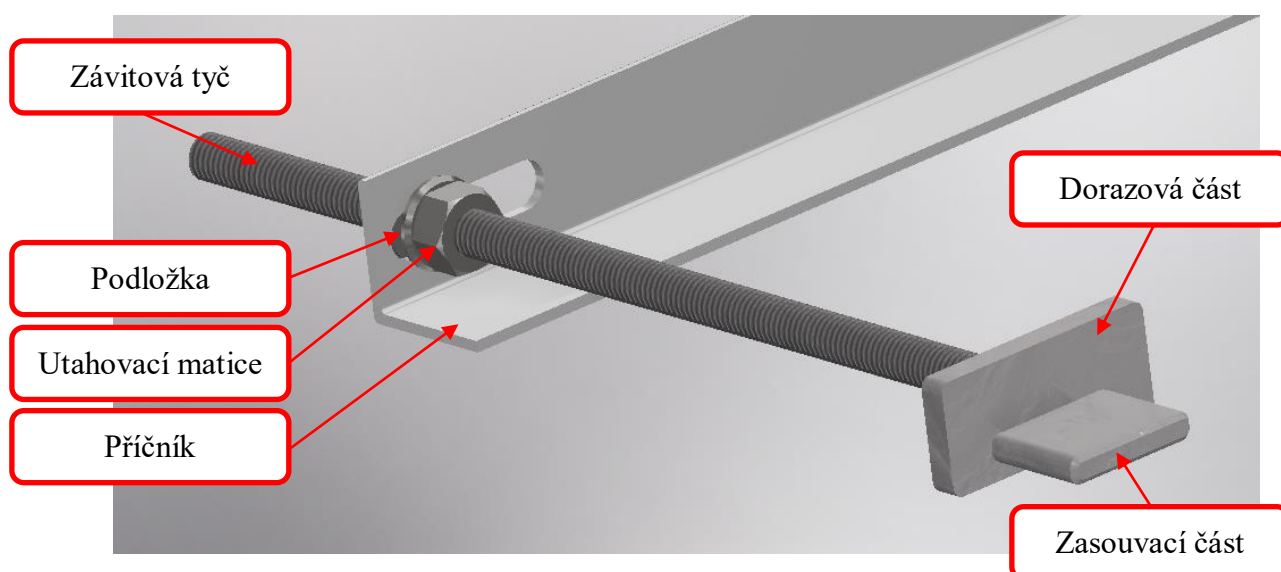
3.2.2 UCHYCENÍ PŘÍPRAVKU V INTERIÉRU VOZIDLA:

Jak již bylo zmíněno, mechanismu upevnění přípravku v interiéru vozu byl značně modifikován. V tomto případě se jedná o využití dvou rozpěrných mechanismů na přední straně přípravku a dorazu v podobě hliníkového profilu na zadní straně, který byl ilustrován na obr. 31. Doraz dosedá do oblasti pod zadní sedadlo, čemuž odpovídá jeho umístění ve výšce 150 mm (od spodní části rámu po spodní část profilu dorazu). Utahovací mechanismus ve spodní přední části přípravku je připevněn ke zmiňovanému U profilu. Konce tohoto elementu jsou pak zasunuty do kolejnic předního sedadla a za pomoci závitové tyče a utahovací matice M8 zapřeny do U příčnicku. Na profilu jsou viditelné rozšířené profily. Ty jsou z toho důvodu, že sériově vyráběné modely využívají a typy kolejnic, přičemž každá je o jiné rozteči. Konkrétně se jedná o hodnoty 469 mm a 456 mm. Lze tak rozteč utahovacích elementů regulovat.



Obr. 34 Spodní utahovací mechanismus

U příčnick je s rámem spojen pomocí fixačního úhelníku, což umožňuje nastavovat jeho výšku dle potřeby. To řeší problematiku, kdy každý model má odlišnou výšku kolejnice předních sedadel od podlahy. Samotný utahovací mechanismus je svařen z ocelových částí, konkrétně tedy se závitové tyče o průměru M8 a stoupáním závitu 1 mm, dorazové části, která má tloušťku 5 mm a části, která bude zasunuta do kolejnice. Ke svaření bylo využito koutového svaru. Výška svaru mezi tyčí a dorazovou částí je 4 mm a mezi dorazovou částí a zasouvací částí 2 mm.



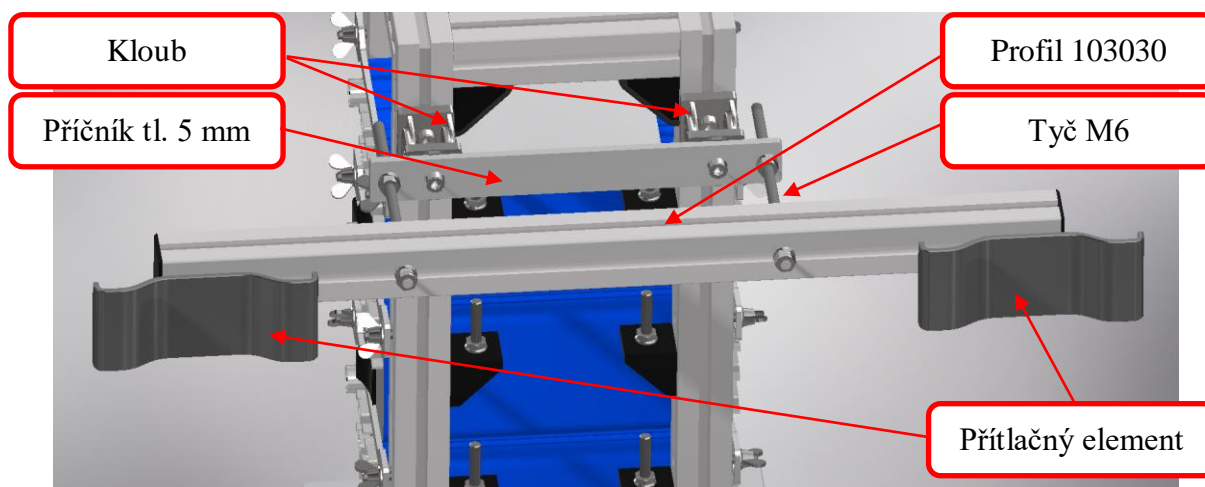
Obr. 35 Popis spodního utahovacího mechanismu

Na horní části přípravku se také nachází utahovací mechanismu. V tomto případě se opěrné body nacházejí na předním sedadle, konkrétně na jeho okrajích, kde se nachází hlavní rám sedadla. Elementy, které se opírají o okraje sedadla jsou tvarovány tak, aby co nejlépe kopírovaly jeho tvar a přitlačení bylo co nejvíce efektivní. Po obvodu dosedací plochy jsou také patřičně sražené hrany. To z důvodu, aby nedošlo k poškození sedadla. V další fázi je ze stejného důvodu plánováno nanesení speciálního gumového povlaku. Dle dohody se zadavatelem bylo rozhodnuto, že o tomto úkonu bude rozhodnuto až po případném namontování přípravku do vozidla a následném vyhodnocení.



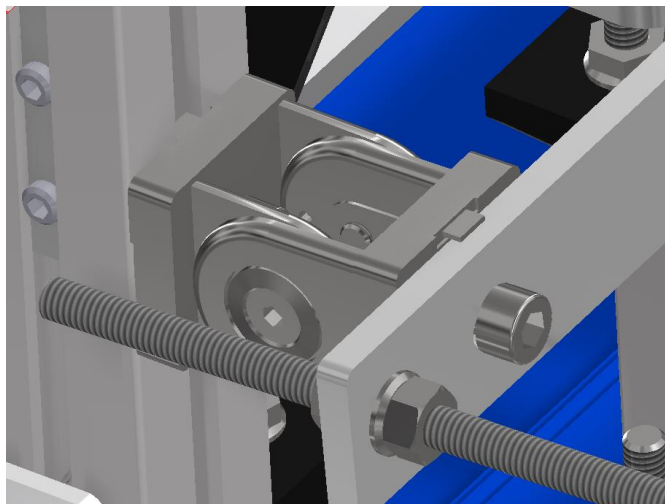
Obr. 36 Detail přitlačné části horního rozpěrného mechanismu

Na přitlačné části je navařena koutovým svarem o výšce 3 mm závitová tyč o průměru M6 a stoupáním závitu 0,8 mm. Celý element je pak spojen s hliníkovým profilem 103030. Na konci závitové tyče je umístěna čtvercová matice používaná pro sestavení rámu a z vnější strany je umístěna šestihranná matice M6 s podložkou. Lze tak měnit rozteč přitlačných částí a je tak zajištěna kompatibilita mezi různými druhy sedadel u různých modelů. Hliníkový profil 103030 je pak spojen pomocí závitové tyče M6 a matice s hliníkovým profilem o tloušťce 5 mm. K zamezení povolání závitové tyče a profilu 103030 jsou použity pojistné matice (viz. obr 36).



Obr. 37 Celkový pohled na horní utahovací mechanismus

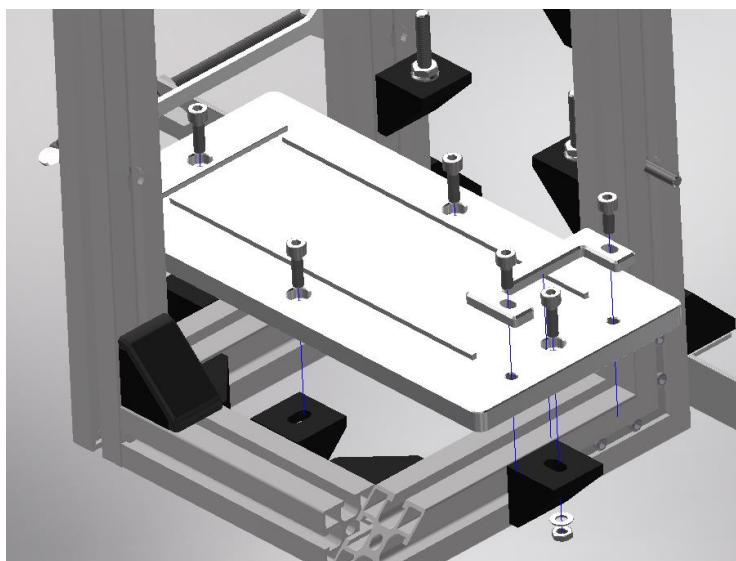
Otáčením matic M6 u příčnicků tloušťky 5 mm dochází k posuvu celého mechanismu, tedy k zapření o sedadlo. Jelikož svislá osa sedadla nesvívá s podlahou pravý úhel, jsou mezi celým mechanismem a rámem použity klouby Alutec KK 323030. Úhel mezi svislou osou sedadla a podlahou bývá obvykle v rozmezí 75–85°. Detail kloubu, příčnicku tl. 5 mm, závitové tyče a utahovací matice je ilustrován na obr. 38.



Obr. 38 Detail uchycení horního utahovacího mechanismu

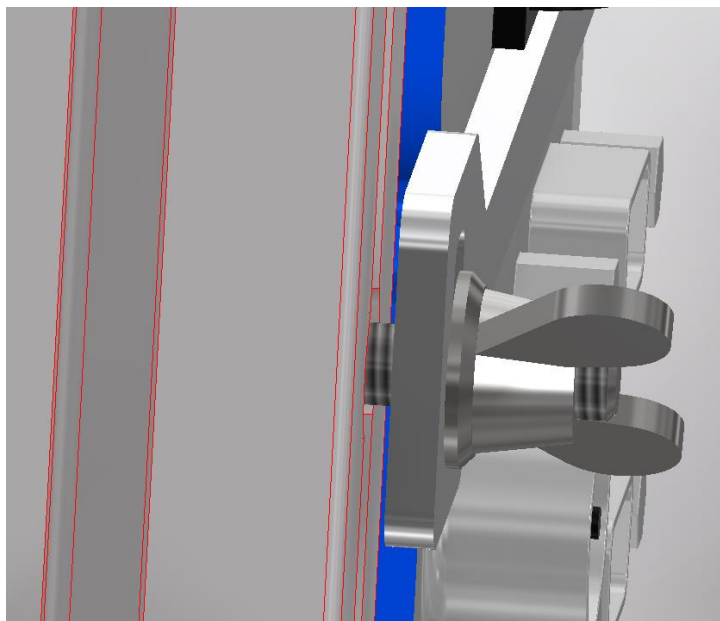
3.2.3 UCHYCENÍ MĚŘÍCÍ APARATURY V RÁMU PŘÍPRAVKU:

Uchycení měřících aparatur je principiálně stejné, jako u předchozího návrhu. Došlo však k několika konstrukčním modifikacím. Jedna z nich je na dolní základní desce, kde na jednom konci byla umístěna další kolejnice v kolmém směru. To umožňuje použití spodního příčnicku pouze na jedné straně. Samotný spodní příčník byl také tvarově modifikován. V tomto případě se jedná o součást o konstantní tloušťce 5 mm, kde jsou navíc sražené hrany, které zamezují zranění při montáži. Deska je k rámu připevnění pomocí fixačních úhelníků, šroubů a matic M6. Na desce jsou dva závitové otvory o průměru M5, kde je spodní příčník k desce připevněn pomocí dvou šroubů. Dolní základní deska je zobrazena na obr. 39.

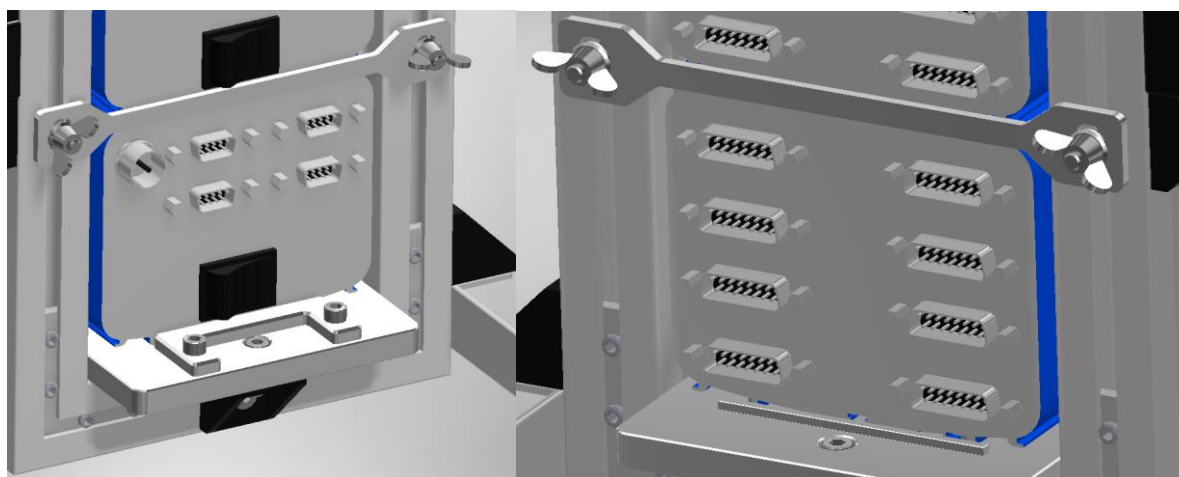


Obr. 39 Uchycení dolní základní desky k rámu

Zabránění posuvů v příčném směru (ve směru jízdy) zůstalo zachováno jako u předchozího konstrukčního návrhu pomocí příčníků. Byly jen tvarově a materiálově modifikovány. Byl zvětšen otvor pro upnutí rámu. Díky tomu lze příčník vůči aparatuře patřičně vystředit. Tloušťka plechu zůstala zachována 2 mm. Dále je v tomto návrhu přesah 2 mm vůči konci rámu (viz. obr. 40). Lze tak příčník předeprnout a uchycení je pevnější. Jako materiál byl zvolen hliník. O případných materiálových a konstrukčních modifikacích bude rozhodnuto na základě případné napěťovo-deformační analýzy MKP.



Obr. 40 Zobrazení přesahu konce aparatury od konce rámu



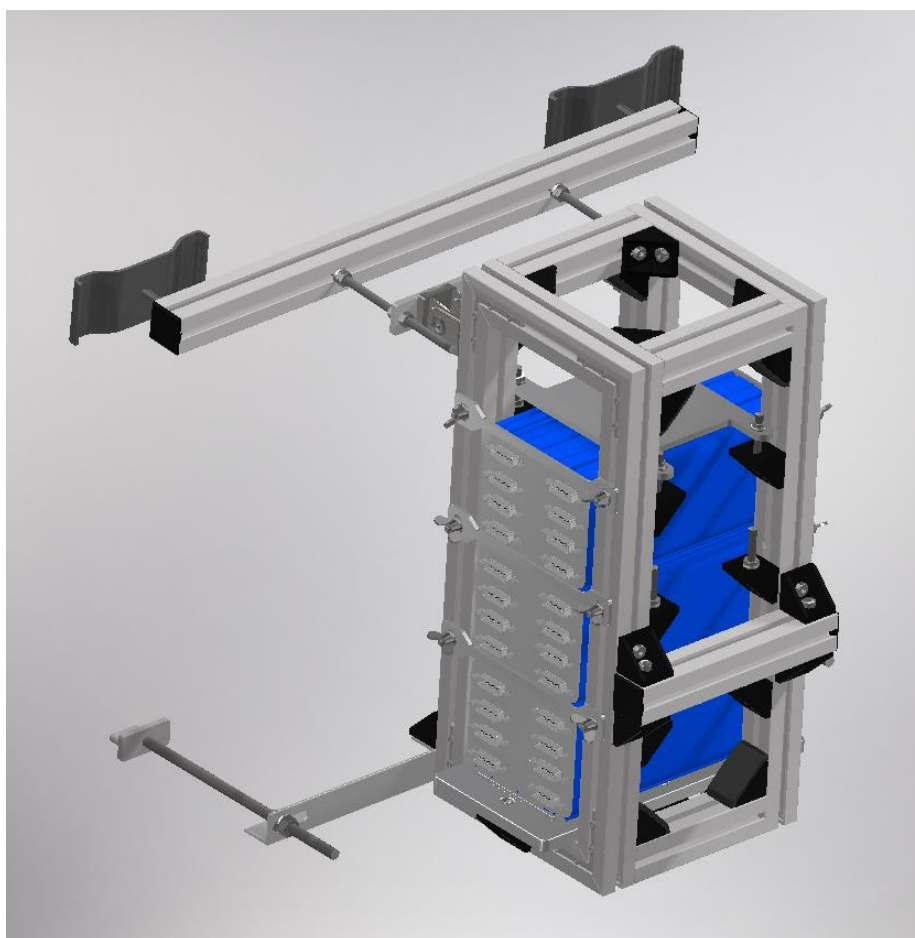
Obr. 41 Zamezení posuvů v příčném směru

Zamezení pohybu ve svislém směru je principiálně totožné, jako u předchozího návrhu. Došlo jen k tvarové a materiálové modifikaci horní přítlačné desky, kdy byla ocel nahrazena hliníkem. Dále byly nahrazeny závitové tyče fixačními úhelníky se šrouby. Z důvodu nedostatku prostoru mezi těmito šrouby a rámem musely být nahrazeny křídlové matice maticemi šestihřannými.

3.2.4 ZHODNOCENÍ 2. KONSTRUKČNÍHO NÁVRHU:

Použitím hliníkových profilů a součástí došlo ke značnému snížení hmotnosti. Celková hmotnost přípravku bez měřících aparatur činí 7,07 kg. Došlo tedy ke snížení hmotnosti o 58,6 %. Díky stavebnicovému systému byla značně zjednodušena výroba přípravku. Dále je k dispozici více prostoru pro instalaci přípravku do interiéru automobilu a instalaci měřících aparatur do přípravku. Značná výhoda spočívá v tom, že u tohoto systému není potřeba v interiéru vozu nic demontovat. Přípravek se pouze vloží do prostoru mezi přední a zadní sedadlo a pomocí rozpěrných mechanismů se zapře. Rozměrově je navržen tak, aby byl kompatibilní pro využití ve všech sériově vyráběných modelech Škoda. Nevýhodou je, že po instalaci přípravku do interiéru vozu nelze manipulovat s nastavení polohy předního sedadla. Je tedy vhodné umístit přípravek za spolujezdcovo sedadlo a před upnutím nastavit spolujezdcovo sedadlo tak, aby bylo možné přípravek spolehlivě zapřít o sedadlo a zároveň byl zajištěn komfort posádky na předním sedadle.

Na základě výše zmíněných poznatku bylo rozhodnuto tento konstrukční návrh realizovat. V následující kapitole se tedy budu věnovat analýzám pomocí metody konečných prvků (MKP), resp. FEM (Finite element metod). Konkrétně tedy především napětovo-deformační analýzou vybraných součástí, modální a harmonickou analýzou. Na základě vyhodnocení analýz potom bude dle potřeby konstrukční návrh modifikován tak, aby jej bylo možné prakticky použít.



Obr. 42 Celkový pohled na 2. konstrukční návrh

4 ANALÝZY MKP

Na finálním konstrukčním návrhu byly aplikovány analýzy metodou konečných prvků za pomoci softwaru ANSYS Workbench v. 18.1. Konkrétně se tedy jednalo o napětovo-deformační analýzu, modální analýzu a harmonickou analýzu. Pro získání popisu dynamického zatížení bylo provedeno měření.

4.1 PROVOZNÍ ZATÍŽENÍ:

Měření průběhu dynamického zatížení bylo měřeno pomocí akcelerometrů, umístěných na kolejnici předního sedadla. Měření probíhalo na vozidle Škoda Rapid Spaceback. Pro měření byly použity celkem 3 akcelerometry, přičemž každý zaznamenával zrychlení v jiné ose. Měření neprobíhalo na testovacím polygonu EHRA, ale bylo provedeno na zkušební stavu dynamické zkušebny Škoda v Mladé Boleslavi. Jedná se o hydropulzní testovací zařízení, ve které je upnut testovací vůz. Pomocí hydraulického zařízení jsou na vůz přenášeny dynamické účinky, simulující průjezd testovacím polygonem EHRA při zostřeném provozu. Simulátor vozovky je 16 - ti kanálový. Na jedno kolo je tedy schopno přenášet síly ve všech třech osách a brzdný moment. Ilustrace zkušebního zatížení je na obr. 43, 44 [3].



Obr. 43 Uchycení modelu Kodiaq na hydropulzním zařízení [3]

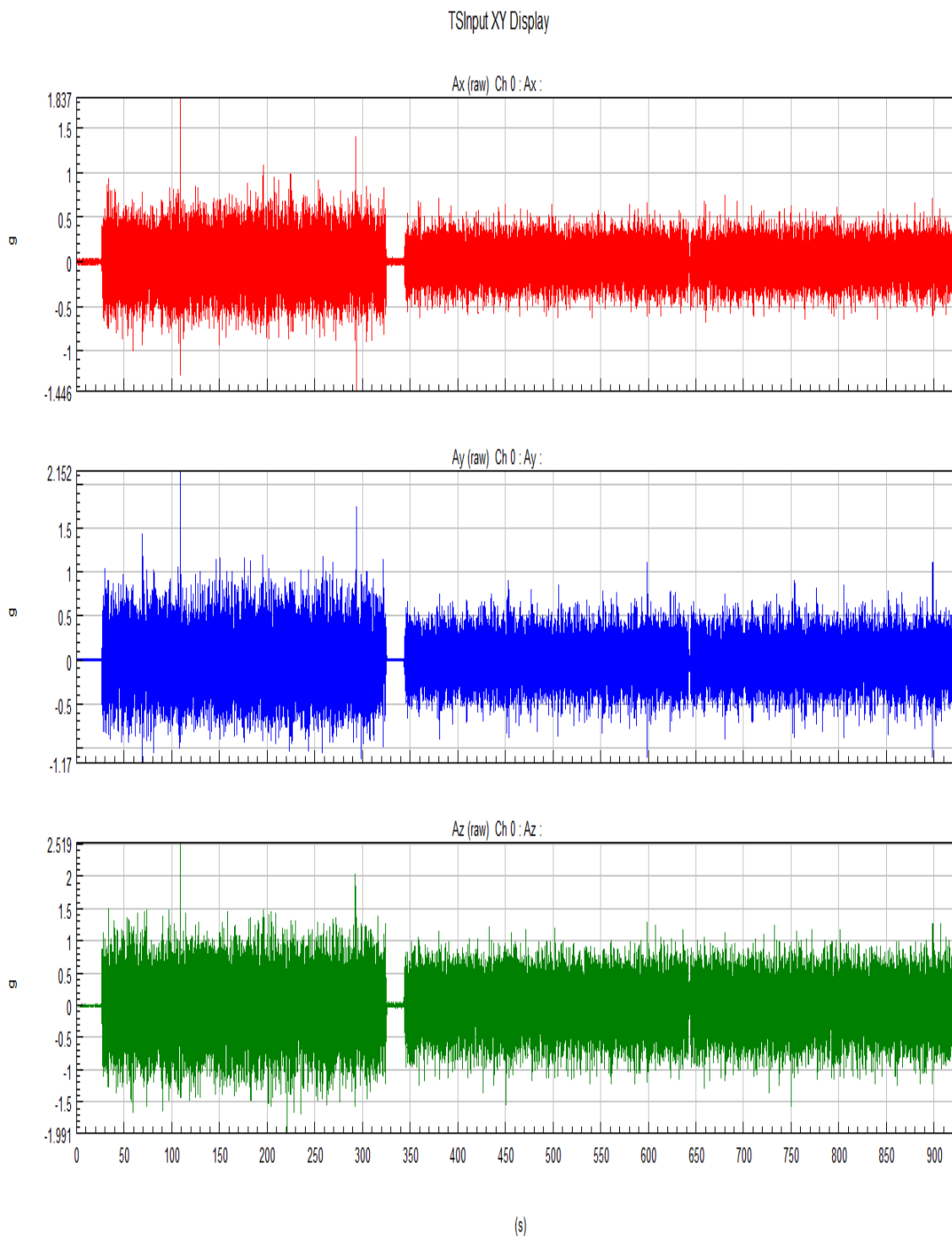


Obr. 44 Zkouška dynamického zatížení modelu Kodiaq na hydropulzním zařízení [3]

Měření probíhalo s vzorkovací frekvencí 1000 Hz. Délka zkoušky trvala přibližně 15 minut, což simuluje ujetí jednoho okruhu na testovacím polygonu EHRA o délce 16 km.

4.1.1 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY:

Výstupem měření je průběh zrychlení, udávaný jako násobky gravitačního zrychlení g , v závislosti za čase. Tento průběh byl vykreslen pro každou osu zvlášť. Osa x je podélná osa, která směřuje ve směru jízdy. Osa y je příčná osa, směřující kolmo na směr jízdy. Osa z je svislá osa.



Obr. 45 Závislost zrychlení na čase v jednotlivých osách

Jak je vidět na obr. 45, kmitání v ose z je s vyšší amplitudou, než v ose x, popř. y. To je dáno především tím, že výraznými zdroji tohoto zatížení jsou reakce na nerovnosti od vozovky při zostřeném provozu. Pro přesnější popis výsledků byla softwarově vykreslena Spektrální výkonová hustota a Rain - Flow diagram.

4.1.2 SPEKTRÁLNÍ VÝKONOVÁ HUSTOTA:

Výkonová spektrální hustota, nebo-li power spectral density, udává rozložení výkonu signálu podél frekvenční osy. Jinými slovy zobrazuje, jaký výkonový podíl zastupuje daná frekvenční složka. Výkonová složka je definována jako plocha pod křivkou v dané frekvenční oblasti. Výkonové spektrum (efektivní hodnota) je počítáno jako druhá mocnina jednotlivých složek frekvenčního spektra. Celkový výkon signálu je pak definován jako součet všech složek výkonu. [13], [14]

Okamžitý výkon:

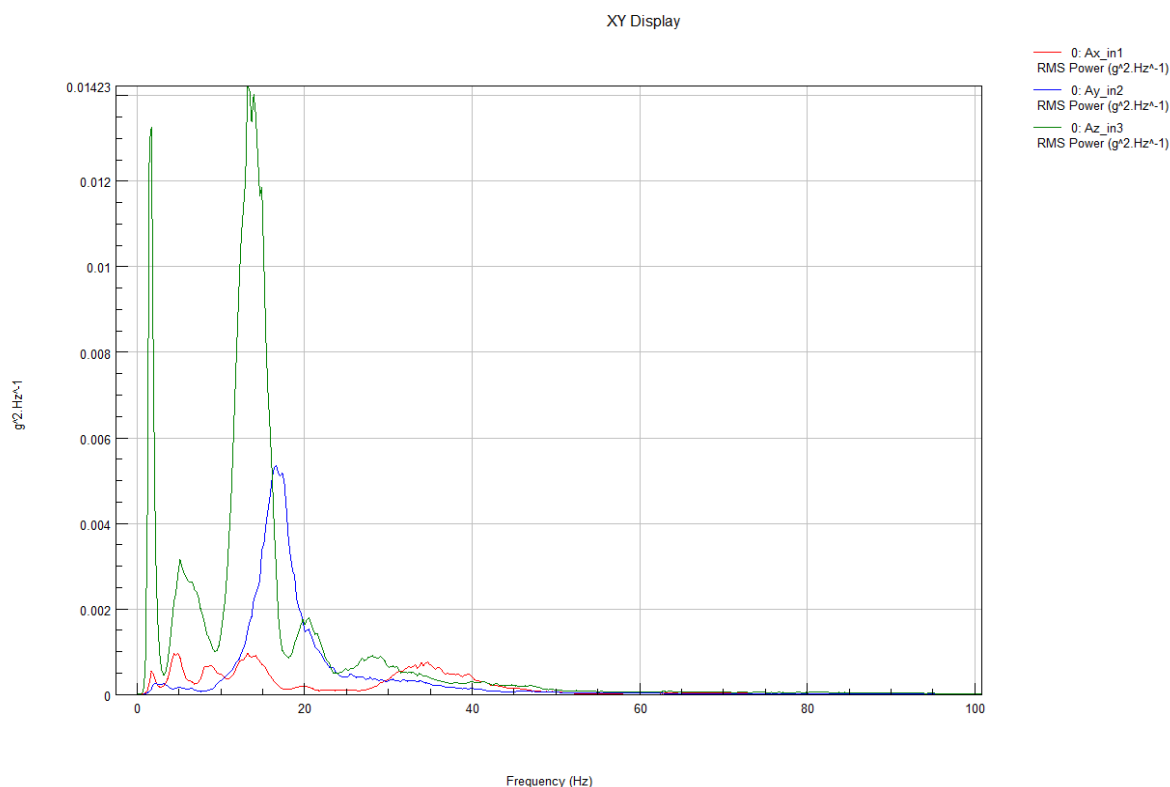
$$N = K \cdot [f(t)]^2 \quad (1)$$

Střední výkon během jedné periody:

$$N_{st} = \frac{1}{T} \int_0^T [f(t)]^2 dt \quad (2)$$

Výkon k-té složky:

$$(N_{st})_K = \frac{1}{T} \int_0^T x_k^2 \cdot \cos^2(\omega_k + \varphi_k) dt \quad (3)$$

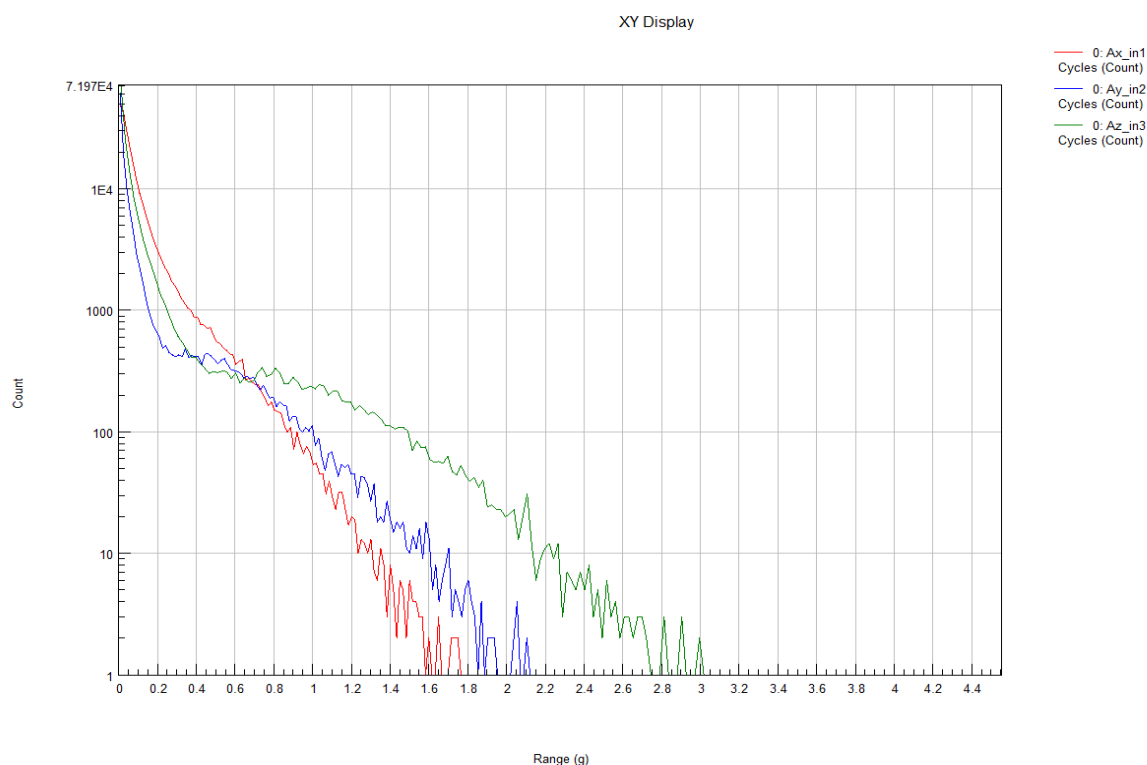


Obr. 46 Spektrální výkonová hustota

Na obr. 46 je vykreslena spektrální výkonová hustota signálu zatížení, naměřeném na kolejnici předního sedadla. Červeně je znázorněn průběh podélné osy x, modře příčné osy y a zeleně svislé osy z. Jak je z grafu patrné, z hlediska výkonu signálu, resp. kmitání je nejvýznamnější svislá osa z. Podstatně nižší výkonové zastoupení má příčná osa y. Podélná osa x zaujímá jen nepatrnou část výkonu signálu v porovnání s osami y a z. Pouze ve frekvenčním rozsahu 30 až 40 Hz zaujímá mírně vyšší výkonový podíl signálu, než osa y a z. Z hlediska nejvyšších hodnot výkonu signálu jsou pro osy y a z významné frekvence v rozmezí 0 až 20 Hz, poté výkony signálů klesají. Průběh výkonu signálu podélné osy x je bez větších výkyvů. Na frekvenci 60 Hz jsou hodnoty u všech os takřka rovny nule a není zaznamenán žádný výkonový růst na frekvencích vyšších, než 60 Hz. Je nutno také poznamenat, že měření probíhalo na výše zmíněném zkušebním stavu, který simuluje zatížení pouze od nerovností vozovky a brzdných (resp. akceleračních) momentů při zostřeném provozu. Nejsou do měření tedy zahrnuty frekvence od motoru a celého hnacího ústrojí, vibrace od aerodynamického odporu, apod. Tyto frekvence, které jsou také při reálném provozu přenášeny ať už strukturou (resp. karosérií automobilu) nebo vzduchem jsou řádově mnohem vyšší. Např. frekvence hnacího traktu se pohybují v rozmezí 500 – 3000 Hz a aerodynamického odporu až 10000 Hz. Lze ovšem tyto frekvence v tomto případě zanedbat, protože lze předpokládat, že nebudou tak významné. Jinými slovy, lze předpokládat, že budou mít mnohem menší výkonovou hodnotu signálu, než je zobrazeno na obr. 46.

4.1.3 RAIN - FLOW DIAGRAM:

Rain – flow diagram zobrazuje četnost výskytu dané amplitudy, resp. hodnoty zrychlení měřeného zatížení. V grafu na ose x jsou hodnoty zrychlení a na ose y jsou hodnoty (v logaritmickém měřítku), které představují počet výskytu dané amplitudy. Jak u předchozího případu je červeně znázorněna osa x, modře osa y a zeleně osa z.



Obr. 47 Rain – flow diagram

Jak je z diagramu patrné, osy x a y mají nejvyšší zastoupení při zrychlení v rozsahu 0 až 1 g, resp. 0 až 10 ms^{-2} . Osa z pak v rozmezí 0 až 1,8 g, resp. 0 až 18 ms^{-2} . Při pevnostní analýze je ovšem potřeba počítat s maximální amplitudou.

4.2 PEVNOSTNÍ ANALÝZA:

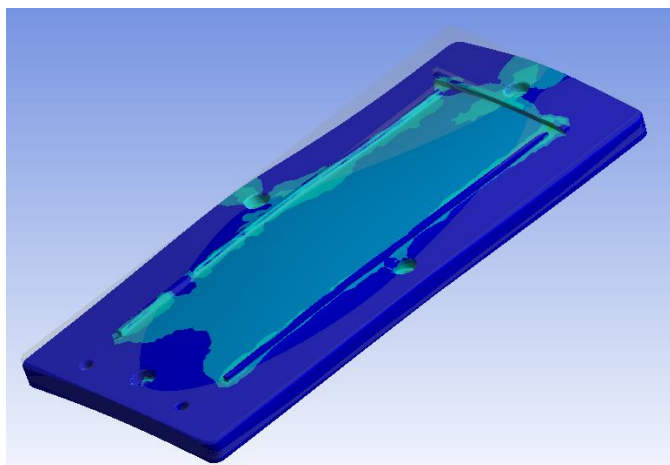
Pevnostní analýza byla aplikována na vybrané součásti, na kterých bylo předpokládáno, že jejich redukované napětí při maximálním provozním zatížení bude velké a mohlo by tak dojít k porušení, popř. plastické deformaci. Samotný rám nebyl součástí pevnostní analýzy MKP, jelikož použité profily jsou použity za aplikace, které jsou z hlediska zatížení náročnější. Pro simulace byl použit modul softwaru ANSYS workbench Static structural.

4.2.1 ANALÝZA DOLNÍ ZÁKLADNÍ DESKY:

První součástí, kde byla aplikována pevnostní MKP analýza, byla dolní základní deska. Deska má tloušťku 10 mm. Nachází se na ní 4 otvory pro zápusťné šrouby M6, sloužící k uchycení desky k rámu přípravku, 2 závitové díry M5 pro uchycení spodního bočního příčnicku a kolejnice o výšce 3 mm a šířce 2,5 mm, do kterých zapadnou kolejnice z měřicí aparatury a mají tak zamezit přímému, popř. bočnímu posuvu. Navrhovaným materiálem je hliník.

Při simulaci byl vytvořen výpočetní model, kde byla spojena dolní základní deska se zjednodušeným modelem aparatury IMC. Zjednodušený byl tak, že byly zachovány hlavní rozměry a funkční kolejnice. Konektory a zbylé části, které nejsou funkční pro pevnostní analýzu byly odstraněny. Materiálem aparatury byl zvolen hliník, a jako typ skořepina tloušťky 7,5 mm. Ta byla určena experimentálně tak, aby výpočetní model aparatury odpovídal skutečné hmotnosti 1,8 kg. Tyto úpravy byly prováděny v CAD softwaru Autodesk Inventor.

Na základní desce byla zvolena síť typu Hex dominant velikosti 4 mm. U otvorů pro zápusťné šrouby a v oblasti kolejnic byla síť zjemněna pomocí příkazu Refinement stupně 3. Tento příkaz zajistí zjemnění sítě o okolí definovaných ploch na $\frac{1}{4}$. Hustota sítě je tedy v těchto oblastech 1 mm. Model měřicí aparatury a model základní desky byly spojeny vazbou frictional contact. U děr pro zápusťné šrouby byla použita vazba Fixed support. Následně byl zatížen výpočtový model měřicí aparatury. Konkrétně tedy v přímém směru silou 150 N, bočním směru 220 N a vertikálním směru silou 380 N.

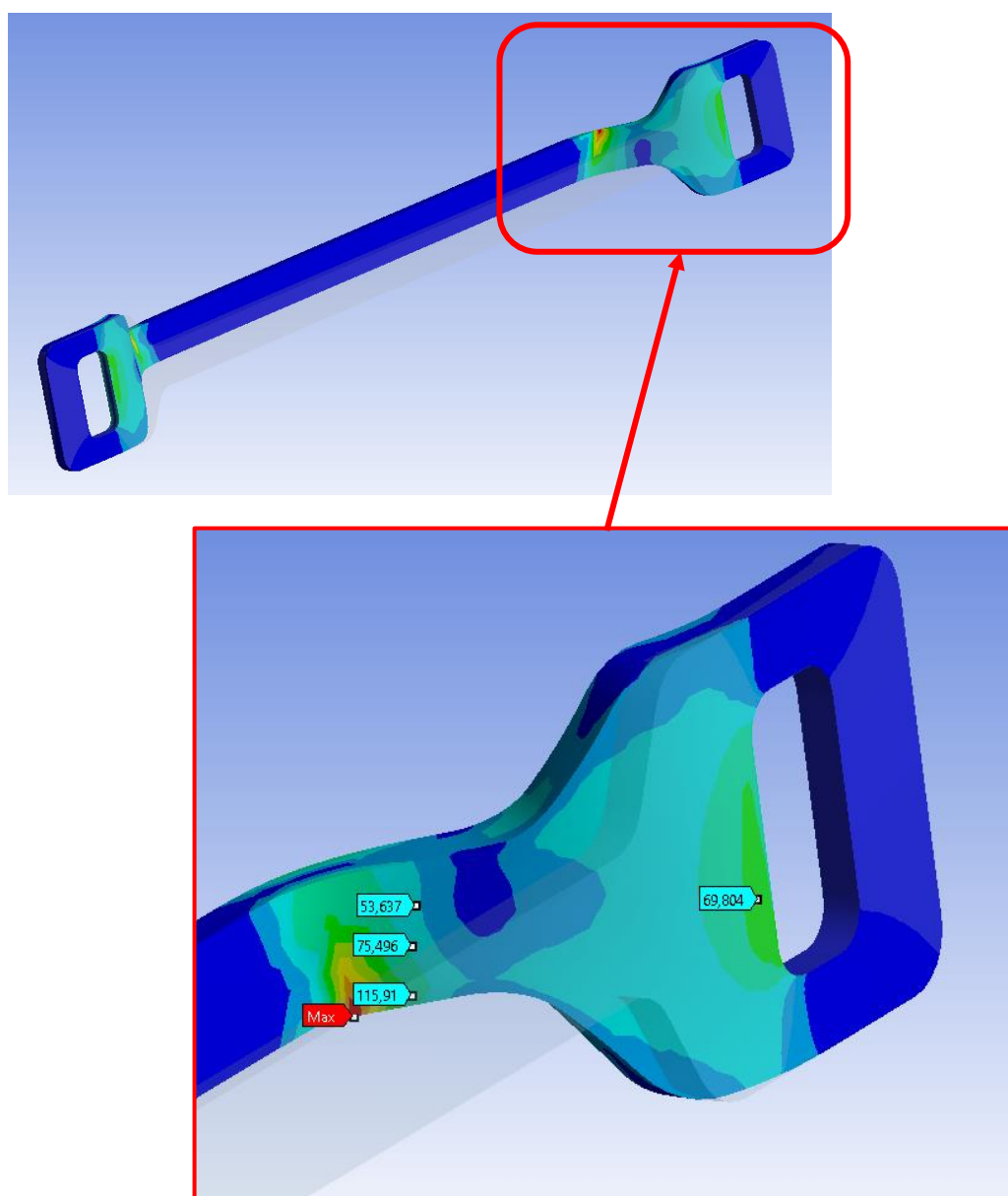


Obr. 48 Výsledek statického zatížení dolní základní desky

Výsledkem statického zatížení bylo maximální napětí 28,5 MPa a maximální posuv 0,018 mm. Lze tedy říct, že je součást dostatečně dimenzována.

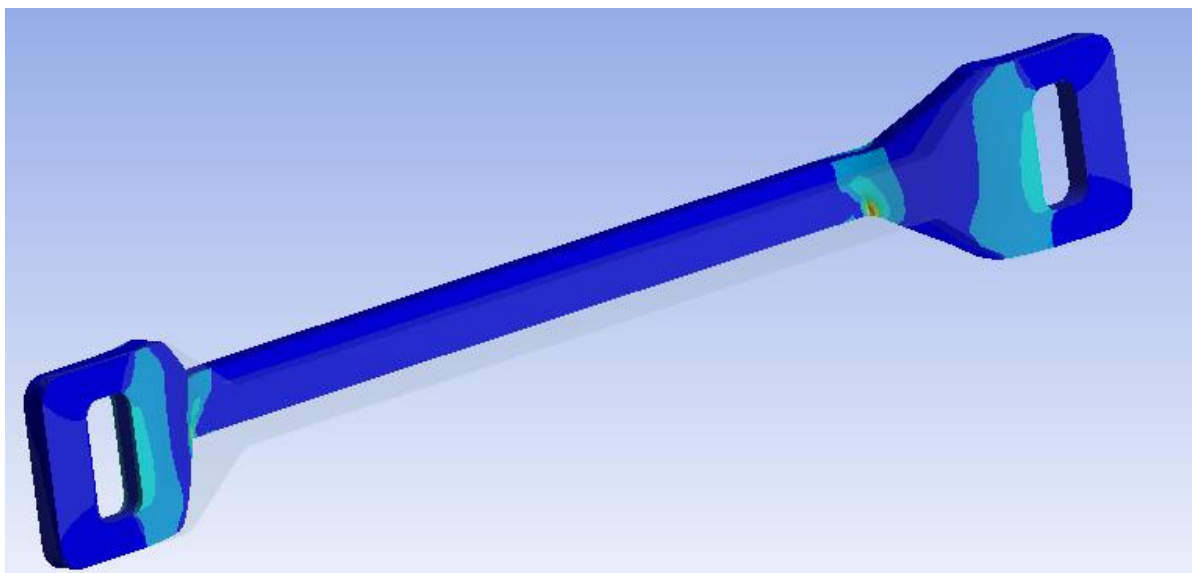
4.2.2 ANALÝZA BOČNÍHO PŘÍČNÍKU:

Další součásti, podrobenou pevnostní MKP analýzou byl boční příčník. Jedná se o součást tloušťky 2 mm, která je předeptuta pomocí dvou šroubů a křídlových matic M5 a má za úkol zabránit aparaturám v bočním posuvu. Navrhovaným materiálem je opět hliník. Výpočtový model byl vytvořen spojením zjednodušeného idealizovaného modelu měřící aparatury a dvou bočních příčníků, které se nacházejí na reálných pozicích. Spojení bylo definováno vazbou frictional contact. Velikost prvku sítě na modelu příčníku byla zvolena 1,5 mm. V oblasti rádiusů a otvorů pro šrouby byla zjemněna pomocí příkazu sizing mesh na hodnotu 0,7 mm. Aparatura byla následně zatížena silou 220 N ve směru kolmo na příčníky, což odpovídá zatížení od dynamických účinků a zároveň silám od předeptnutí šroubů.



Obr. 49 Výsledek statického zatížení bočního příčníku

Výsledkem pevnostní analýzy bylo maximální napětí o hodnotě 138,1 MPa, které se vyskytuje v oblasti rádiusů v místě zúžení. Jelikož z důvodů připojení konektorů není možné zvětšit tloušťku příčnicku, rozhodl jsem se modifikovat samotnou geometrii příčnicku. Po modifikaci byly hlavní rozměry zachovány, ale byl zvětšen přechod v místě zúžení tak, aby bylo možné do aparatury připojit konektory. Došlo tak v kritických místech ke snížení koncentrátů napětí. Výsledky pevnostní analýzy MKP pro modifikovaný příčnick jsou ilustrovány na obr. 50.



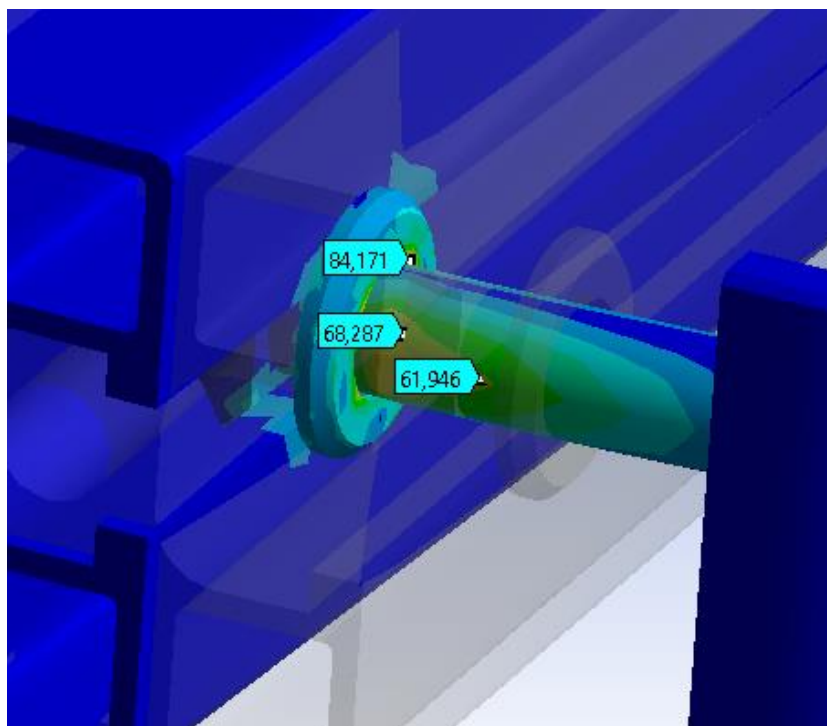
Obr. 50 Výsledek statického zatížení modifikovaného bočního příčnicku

Výsledkem pevnostní analýzy bočního příčnicku, který prošel zmíněnou geometrickou modifikací bylo snížení maximálního redukovaného napětí na hodnotu 105 MPa. Toto snížení napětí je vhodné mj. i z hlediska únavy materiálu. Maximální deformace příčnicku při maximálním provozním zatížení je 0,028 mm.

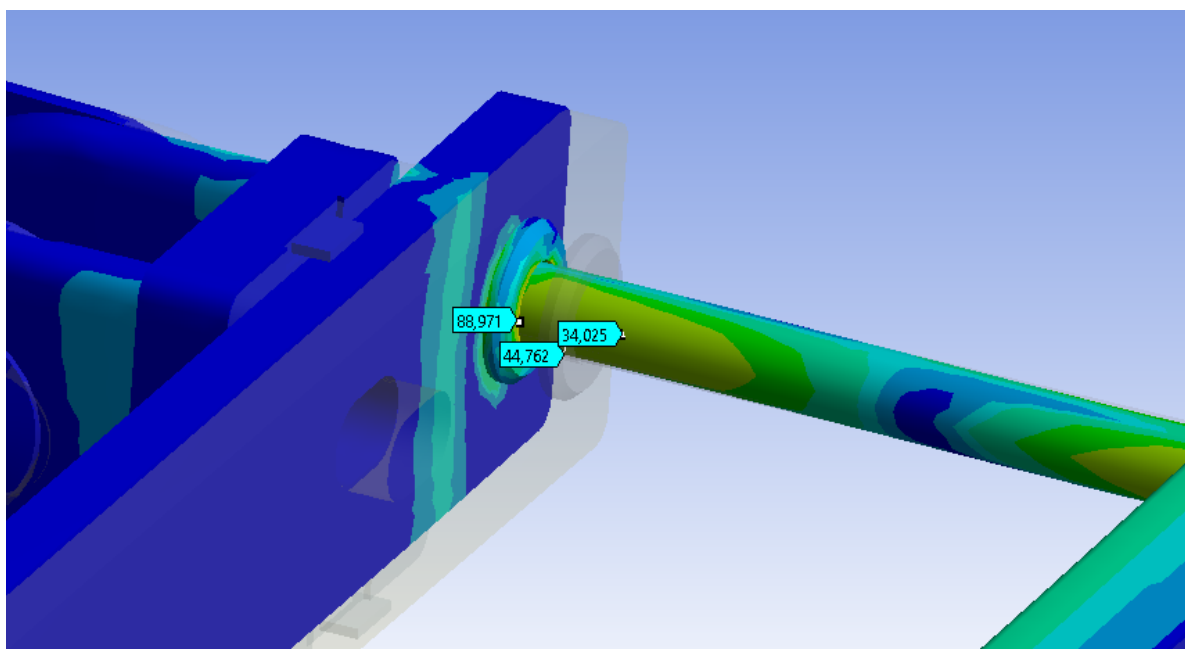
4.2.3 ANALÝZA V OBLASTI ZÁVITOVÝCH TYČÍ:

Mezi analyzované součásti byly zahrnuty i závitové tyče rozpěrných mechanismů včetně podložek a okolních součástí. Závitové tyče jsou vyrobeny z ocele 11 373, aby bylo možné vyrobít závit s pevnostním označením 8.8.

Byl rovněž vytvořen výpočtový model, který se skládal z kompletního rámu včetně rozpěrných mechanismů. Byly odstraněny šrouby a zachovány podložky. Pro spojení byla aplikována pevná vazba bounded. Následně bylo rámu zamezeno posuvu s místech dotyku s interiérem vozu vazbou fixed support, popř. displacement a rozpěrné mechanismy byly zatíženy silou, která odpovídá síle od maximálního dynamického zatížení a síle od předepnutí rozpěrných mechanismů současně. Výsledky napětí v jednotlivých oblastí jsou ilustrovány na obr. 51, 52.



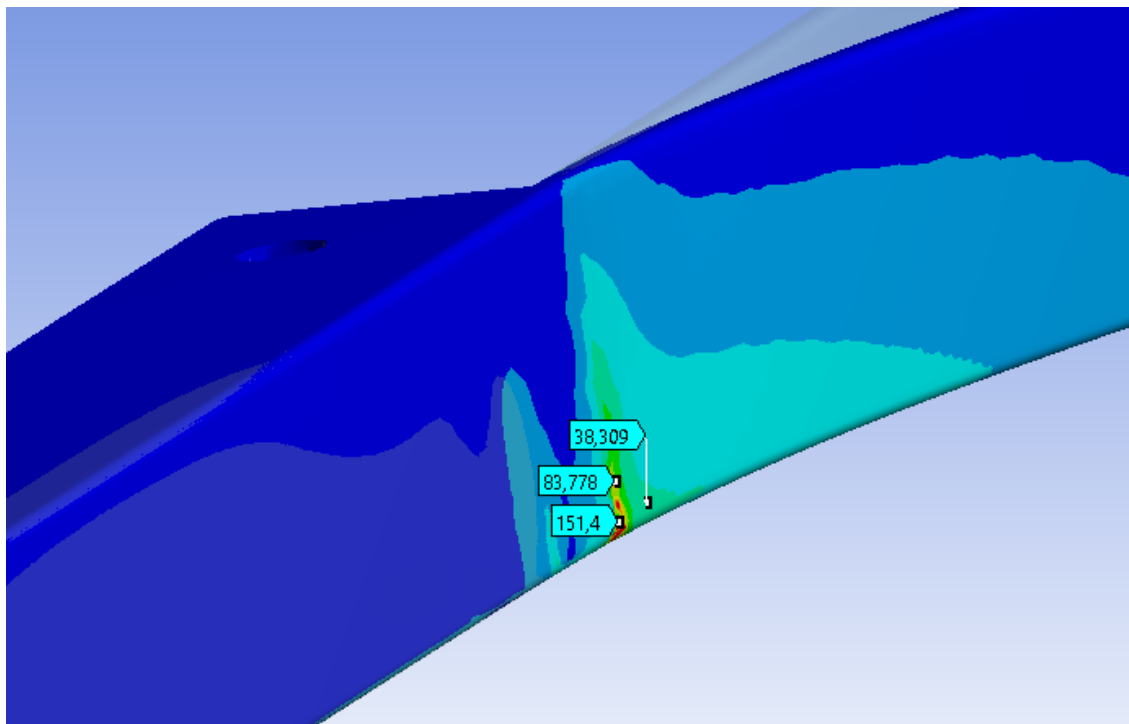
Obr. 51 Výsledek napětí statického zatížení v oblasti závitových tyčí horního rozpěrného mechanismu a příčnicku 103030



Obr. 52 Výsledek napětí statického zatížení v oblasti závitových tyčí horního rozpěrného mechanismu a hliníkového příčnicku

Jak je vidět na obr. 51, 52, napětí se v kritických oblastech pohybuje v rozmezí cca 35 – 90 MPa. Na základě těchto hodnot není potřeba provádět žádné konstrukční či materiálové modifikace. U hliníkového příčnicku je koeficient bezpečnosti 2,7 a vyšší.

Vysokých hodnot napětí bylo dosaženo u spodního příčnicku spodního rozpěrného mechanismu. Jako polotovar pro výrobu tohoto příčnicku byl zvolen hliníkový profil typu C 25x25x2. Tento příčnick je značně namáhán na ohyb v oblastech, kde končí spojení příčnicku s rámem. V tomto kritickém místě je maximální hodnota napětí 151,4 MPa (viz. obr. 53).



Obr. 52 Výsledek napětí statického zatížení v oblasti kritického místa spodního příčnicku spodního rozpěrného mechanismu

Jelikož je polotovar vyroben z materiálu EN AW 6060 s mezí kluzu 195 MPa, koeficient bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti je 1,28. Tato hodnota je poměrně nízká a tato oblast by se negativně jevila z hlediska únavy materiálu. Proto bylo rozhodnuto nahradit tento polotovar ocelovým polotovarem stejných rozměrů. Tento polotovar odpovídá S235JR, což odpovídá mezi kluzu minimálně 360 MPa. Koeficient bezpečnosti vůči meznímu stavu pružnosti je tedy 2,38 [16].

4.3 MODÁLNÍ ANALÝZA:

Další analýzou MKP, která byla aplikována, byla modální analýza. Analýza slouží k vyšetření vlastních frekvencí přípravku při daných okrajových podmínkách. Tyto vlastní frekvence vypovídají o hodnocení provozního stavu přípravku, kdy by případná se frekvence provozního zatížení v blízkosti hodnoty některé z vlastních frekvencí vedla k rezonanci a následnému poškození, resp. zničení přípravku. Cílem je tedy to, aby se provozní frekvence nevyskytovaly v rezonanční oblasti, resp. v oblasti vlastních frekvencí. Pro řešení analýzy byl použit software ANSYS workbench, konkrétně tedy modul Modal Analysis. Jednalo se o tlumenou modální analýzu, kdy bylo zavedeno hysteretzní tlumení. Koeficient vnitřního, resp. materiálového tlumení, který je v prostředí ANSYS workbench označován termínem Damping Ratio, byl zvolen odhadem z tabulek na hodnotu $\xi = 0,0035$.

Základní dynamická rovnice rovnováhy:

$$M \cdot \ddot{x} + K \cdot x = f(t) \quad (4)$$

kde:

x je vektor posuvů

M je matice hmotností

K je matice tuhostí, která pro je pro hysteretzní tlumení definována vztahem:

$$K = K' \cdot (1 + j \cdot \eta) \quad (5)$$

kde:

K' je matice tlumení

 η je součinitel materiálového tlumení konstrukčních materiálů

[17]

Pro řešení modální analýzy musely být postaveny celkem 3 výpočtové modely, a to s umístěním jedné, dvou a tří aparatur do přípravku. To z důvodu ovlivnění hmotnosti a tuhosti celé soustavy při umístění odlišného počtu aparatur. Jak je zřejmé z rovnice č. 6, s rostoucí tuhostí nelineárně rostou hodnoty vlastních frekvencí a s rostoucí hmotnosti zase vlastní frekvence klesají.

Vlastní frekvence netlumeného kmitání s 1 stupněm volnosti:

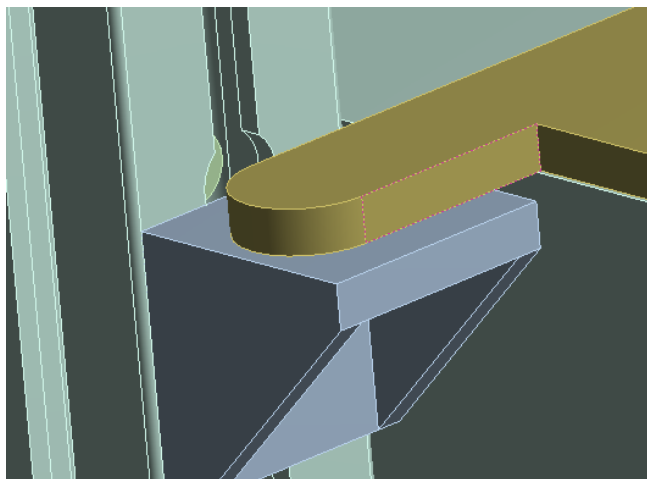
$$\Omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (6)$$

kde:

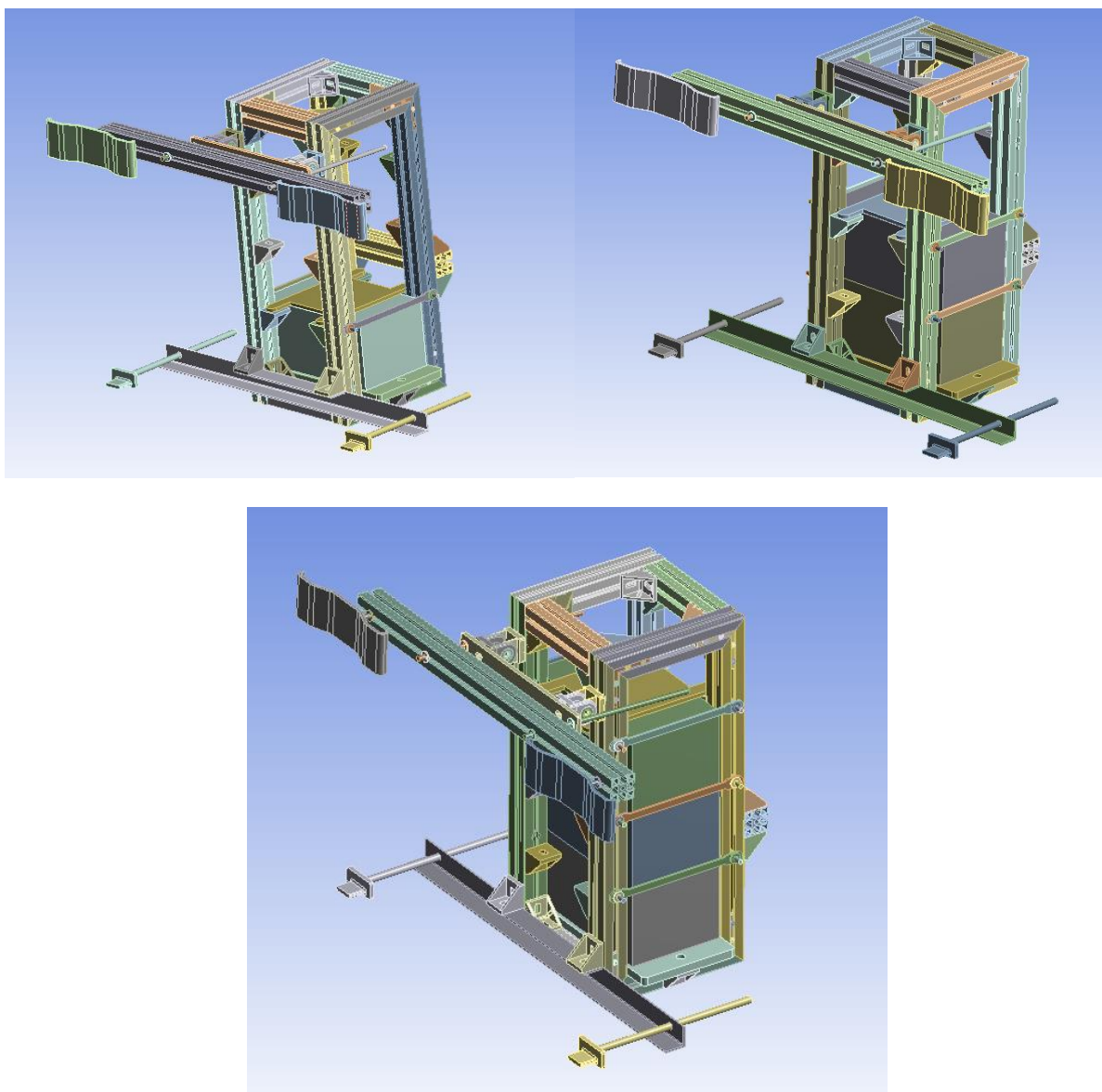
k je tuhost [N.m⁻¹]

m je hmotnost [kg]

Z důvodu geometrické náročnosti byly výpočtové modely za účelem snížení náročnosti výpočtu zjednodušeny. Byly odstraněny veškeré šrouby, matice a podložky. V některých případech byly zaceleny i otvory pro šrouby (viz. obr. 53). U všech kontaktů byla použita pevná vazba bounded. Na modelu byla vytvořena síť s hustotou v rozmezí 1,5 – 5 mm. Celkově se tedy jednalo o přibližně 1 800 000 prvků (u modelu se třemi aparaturami). Při definici okrajových podmínek byly použity příkazy displacement, neboli zamezení posuvů v místech ukotvení, resp. v místech styku přípravku s interiérem vozu. Aparatura byla nahrazena zjednodušeným výpočtovým modelem, což představoval skořepinový kvádr s tloušťkou stěny 7,1 mm, který měl shodné rozměry s hraničními rozměry reálné aparatury a také shodnou hmotnost. Všem součástem byly také definovány materiálové vlastnosti přímo z knihovny materiálu softwaru ANSYS workbench. Byly použity celkem 2 druhy materiálu – konstrukční ocel a slitina hliníku. Výpočtové 3D modely jsou ilustrovány na obr. 54.



Obr. 53 Ukázka zjednodušení výpočtového modelu



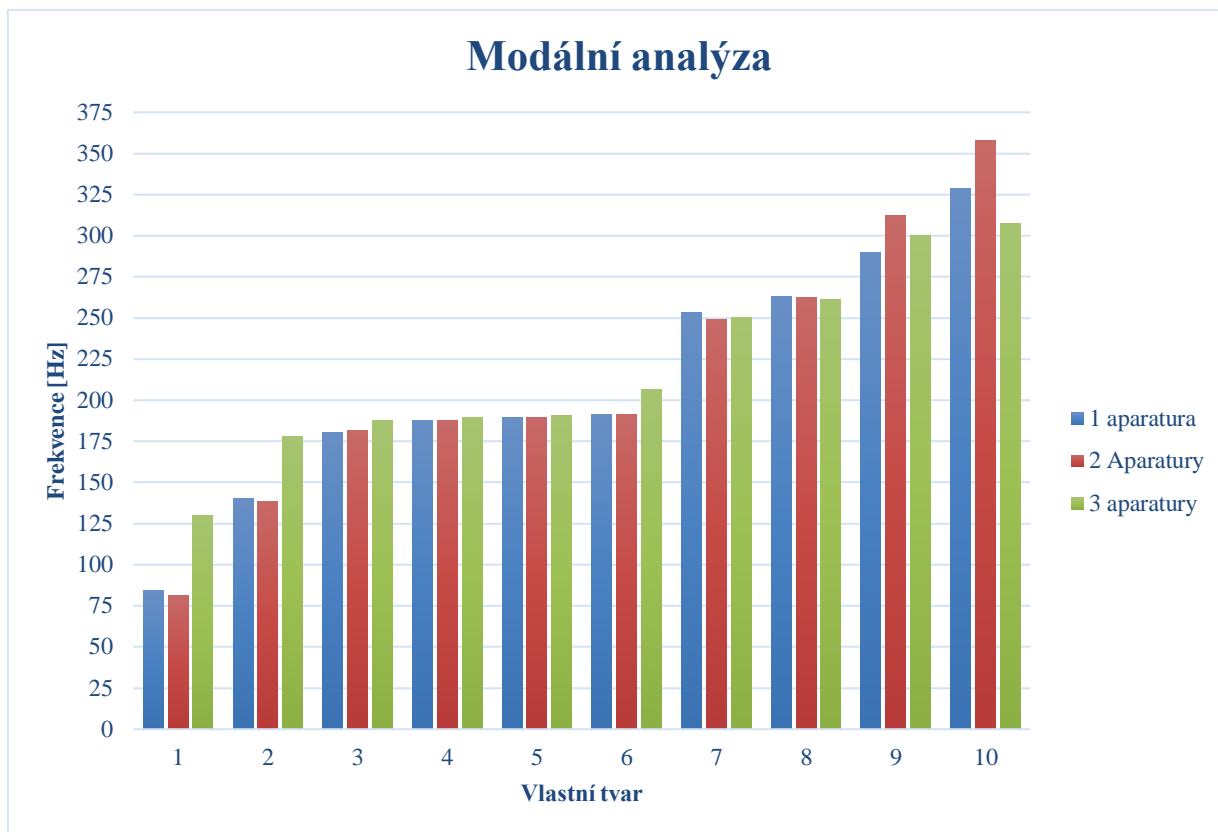
Obr. 54 Výpočtové modely pro modální analýzu s umístěním jedné, dvou a tří aparatur

4.3.1 VÝSLEDKY MODÁLNÍ ANALÝZY:

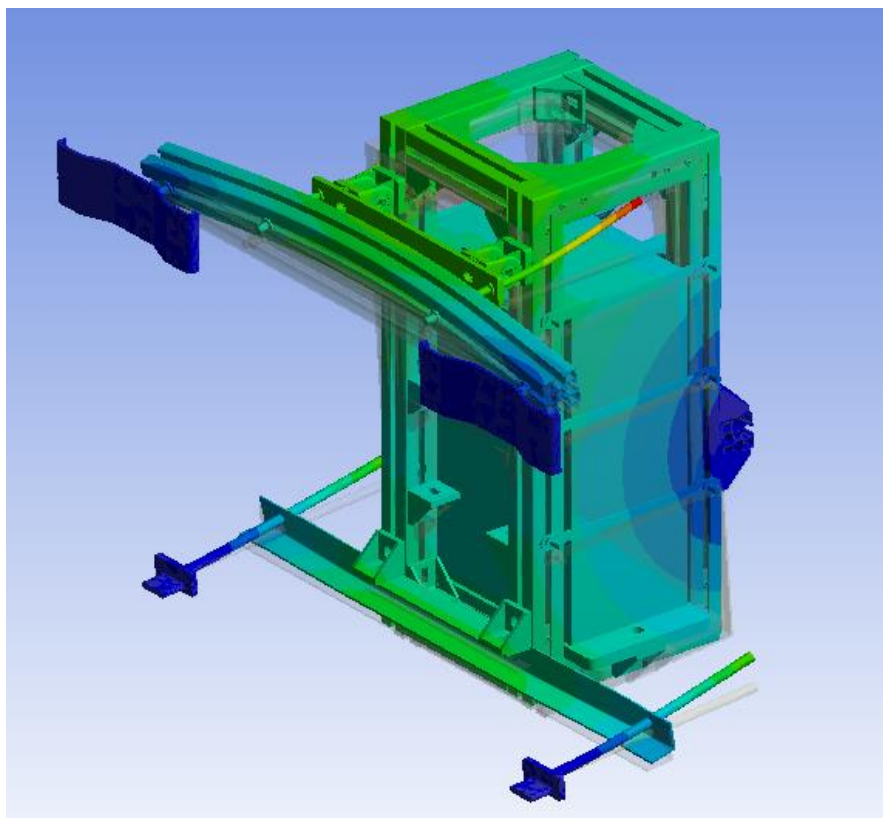
Výstupem modálních analýz bylo vypsání prvních deseti vlastních frekvencí a vykreslení deformace jednotlivých vlastních tvarů. Vlastní frekvence jsou vypsány v tabulce č. 3 a graficky vykresleny na obr. 55. Z výsledků vyplývá, že vlastní frekvence se pohybují mimo frekvence provozního zatížení, které se pohybuje v rozmezí cca 0 až 60 Hz. Nejnižší první vlastní frekvence je při umístění dvou aparatur do přípravku a má hodnotu 81,5 Hz. První vlastní frekvence při umístění tří aparatur do přípravku má hodnotu 131,2 Hz. Tyto výsledky jsou tedy uspokojující a není potřeba žádných modifikací, vedoucích ke změně hodnoty vlastních frekvencí, které by spočívaly především ke změně hmotnosti, popř. tuhosti nebo k nutnosti použití tlumící jednotky. Na obr. 56 je vykreslena deformace prvního vlastního tvaru při umístění tří aparatur. Z toho je zřejmé, že maximální deformace bude na závitových tyčích, jelikož jejich konce nijak podepřeny. Na základě těchto výsledků byla zmenšena délka závitových tyčí o 50 mm horního rozpěrného mechanismu. Tato modifikace je možná, jelikož tuto délku lze kompenzovat přisunutím předního sedadla směrem vzad o patřičnou délku.

Tab. 3 Vlastní frekvence soustavy s daným počtem umístění měřících aparatur:

| Tvar | počet aparatur | | |
|------|----------------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 1 | 84,504 | 81,552 | 130,17 |
| 2 | 140,13 | 138,23 | 178,1 |
| 3 | 180,13 | 181,71 | 187,79 |
| 4 | 187,59 | 187,61 | 189,32 |
| 5 | 189,72 | 189,76 | 190,67 |
| 6 | 191,38 | 191,08 | 206,32 |
| 7 | 253,24 | 248,95 | 250,57 |
| 8 | 263,34 | 262,17 | 261,26 |
| 9 | 289,67 | 312,2 | 300,14 |
| 10 | 328,84 | 358,15 | 307,42 |



Obr. 55 Grafické znázornění vlastních frekvencí



Obr. 56 Vykreslení deformací prvního vlastního tvaru při umístění tří aparatur (130,17 Hz)

4.4 HARMONICKÁ ANALÝZA:

Z důvodu vyšetření vlivů od provozního dynamického zatížení byla provedena harmonická analýza. Konkrétně se tedy jednalo o vyšetření kritických oblastí z hlediska kmitání, konkrétně tedy závitových tyčí. Dále cílem harmonické analýzy bylo zjištění napětí v kritických spojích a celkový průběh kmitání při působení dynamického provozního zatížení. Na základě výsledků bude rozhodnuto, zda bude zapotřebí konstrukčních modifikací, popř. použít tlumící jednotku. Nejprve byla na základě průběhu signálu zatížena provedena Fourierova transformace.

4.4.1 FOURIEROVA TRANSFORMACE:

Fourierova transformace slouží k převodu časového signálu do frekvenční domény.

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \cdot e^{-j\omega t} dt \quad (7)$$

Případně lze tuto operaci realizovat i obráceně inverzní Fourierovou transformací:

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega \quad (8)$$

Výše uvedené vztahy ovšem vyžadují definici matematického vyjádření, resp. funkce vstupního signálu. Z naměřených hodnot jsou však zapisovány hodnoty s vzorkovací frekvencí 1000 Hz. Tato problematika je řešena pomocí numerické metody, která se nazývá diskrétní Fourierova transformace (DFT).

Přímá DFT:

$$S_k = \sum_{i=0}^{N-1} s_i \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}k \cdot i} \quad (9)$$

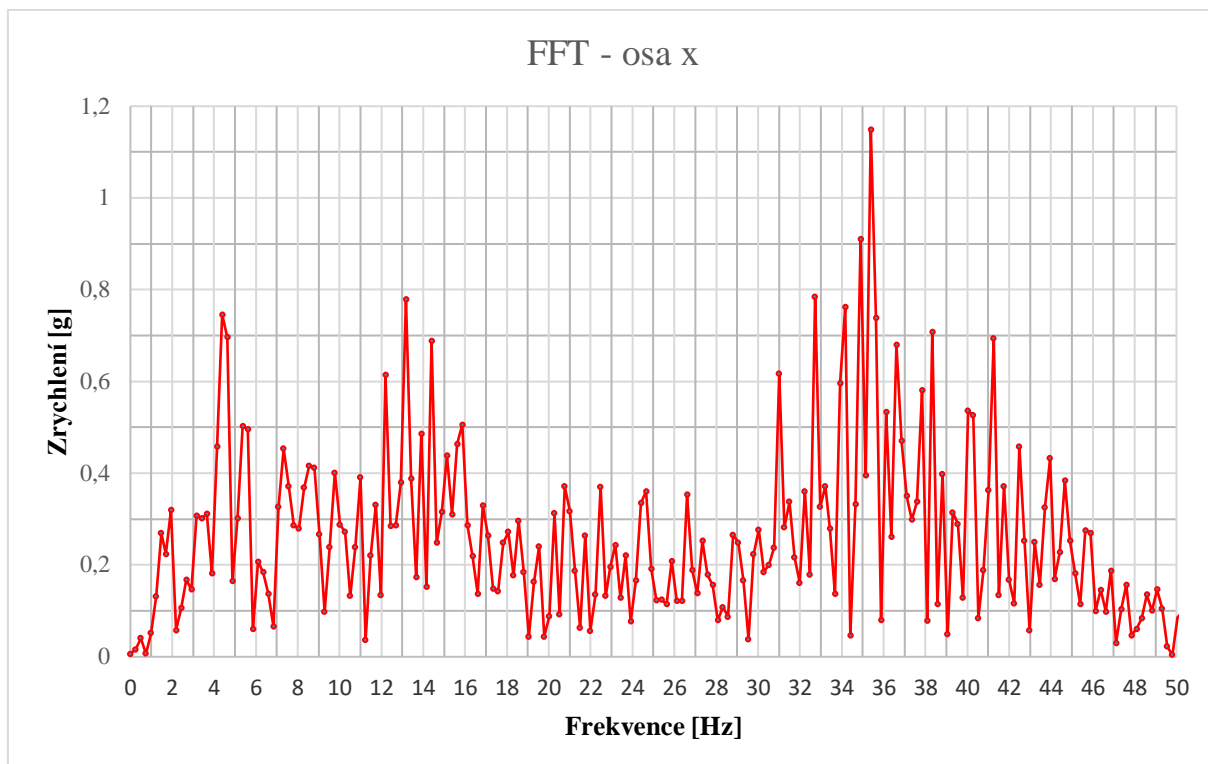
Také jako v předchozím případě existuje inverzní diskrétní transformace:

$$s_i = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} S_k \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}k \cdot i} \quad (10)$$

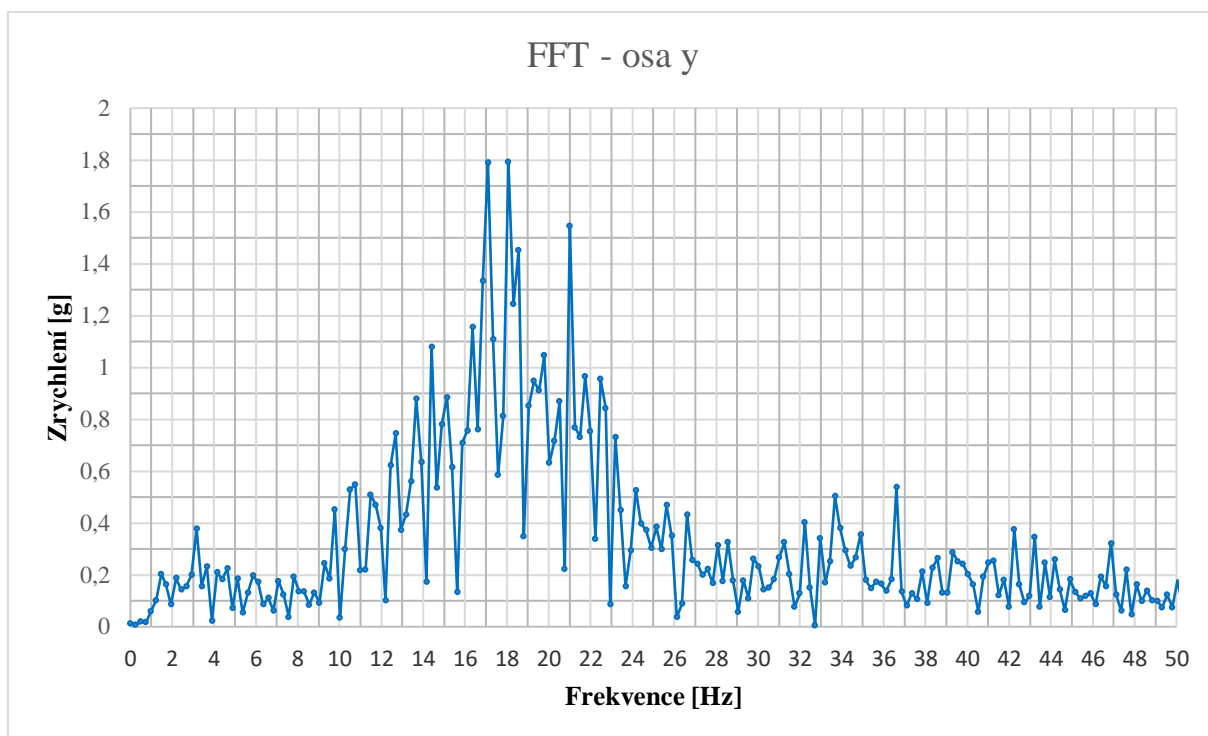
Fourierova transformace byla provedena efektivním algoritmem pro spočtení DFT. Tento algoritmus je nazýván rychlou Fourierovou transformací, neboli zkratkou FFT (fast Fourier transform) [18], [19].

FFT byla provedena pomocí softwaru Microsoft Excel se vzorkovací frekvencí 1000 Hz. Byla provedena pro každou osu ve stejné časové oblasti 30 – 34 s. Pro řešení byla vybrána první třetina průběhu signálu právě z toho důvodu, že z grafu na obr. 45 je patrná vyšší amplituda, než ve zbylé části průběhu signálu. Na ose z byla provedena kontrolní FFT v časovém intervalu 58 – 62 s a výsledky byly porovnány s výsledky na dané ose v předchozím časovém intervalu. Bylo zjištěno, že průběh zrychlení ve frekvenční oblasti u obou dvou časových intervalů dané osy je podobný. Pro provedení FFT za pomoci softwaru Microsoft Excel je možno zadat do řešení jen určitý časový interval. Konkrétně se jedná o maximální počet 4096 hodnot, což při vzorkovací frekvenci představuje časový interval 4,096 s.

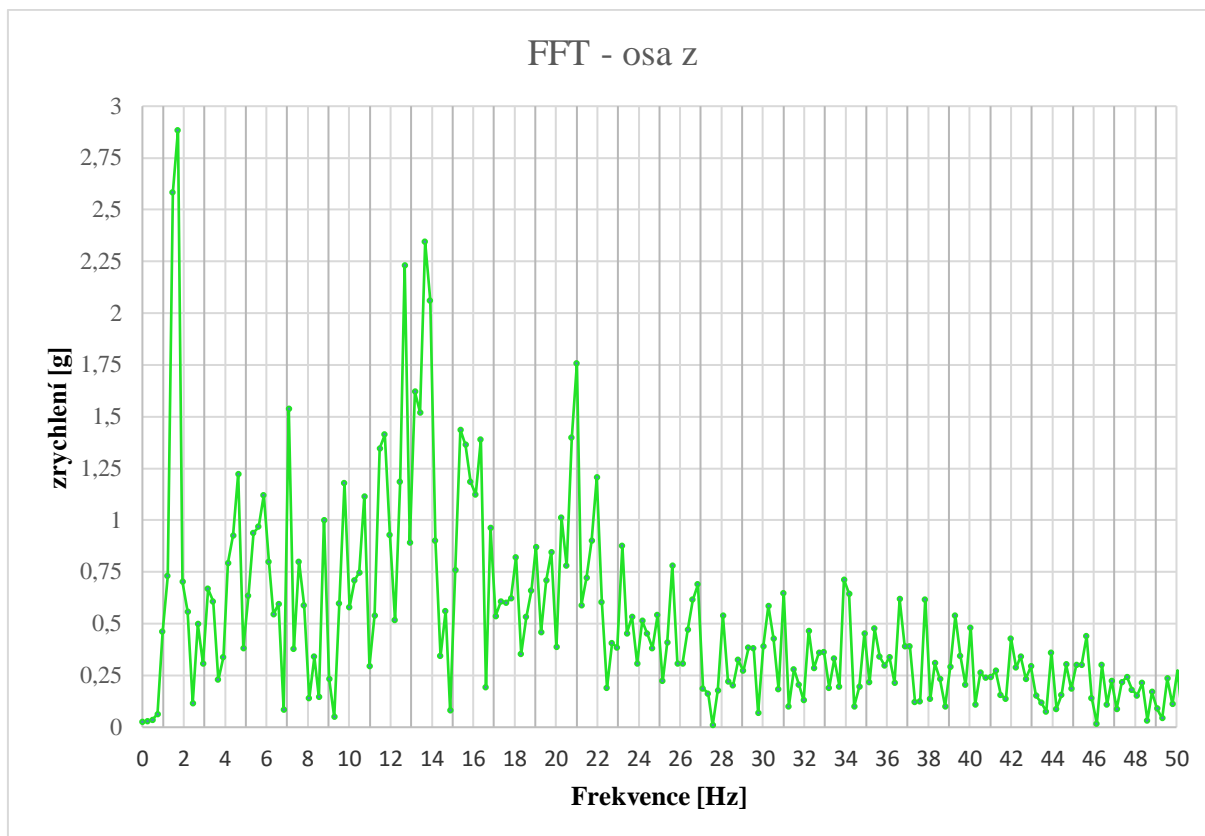
Následně byla graficky vykreslena závislost hodnota gravitačního zrychlení na frekvenci ve frekvenčním rozsahu 0 – 50 Hz ve všech třech osách.



Obr. 57 Převod průběhu zatížení z časové do frekvenční oblasti pomocí FFT u osy x



Obr. 58 Převod průběhu zatížení z časové do frekvenční oblasti pomocí FFT u osy y



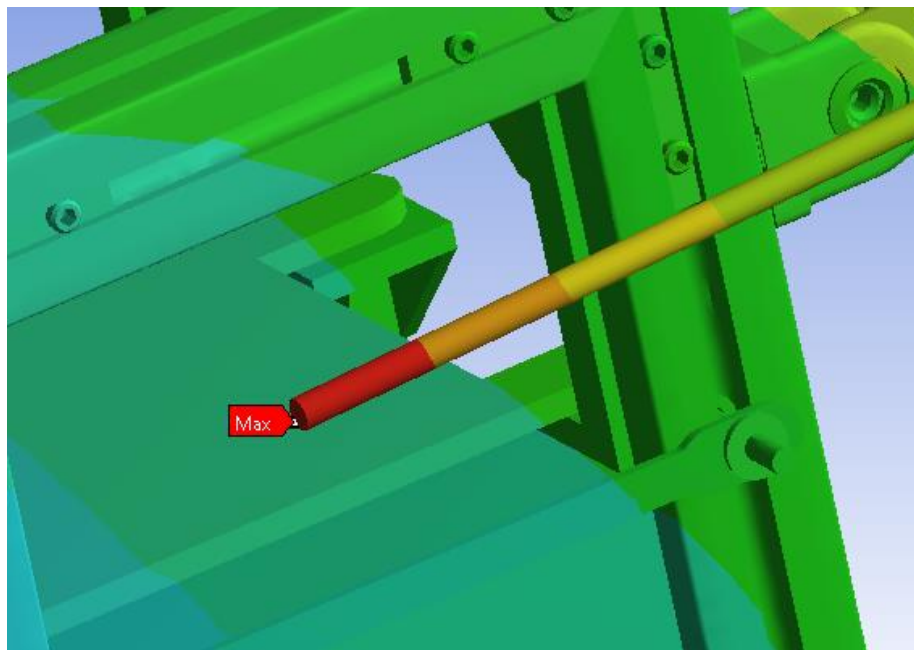
Obr. 58 Převod průběhu zatížení z časové do frekvenční oblasti pomocí FFT u osy z

4.4.2 ŘEŠENÍ HARMONICKÉ ANALÝZY:

Řešení harmonické analýzy probíhalo pomocí softwaru ANSYS workbench, konkrétně provázáním modulů Modal analysis a Harmonic Response. To z důvodů, že řešení probíhalo metodou modální superpozice. Ta má hlavní výhodu tu, že není tam hardwarově náročná a výpočet je tedy rychlejší. Navíc u této metody lze použít modální tlumení, což u přímé metody nelze.

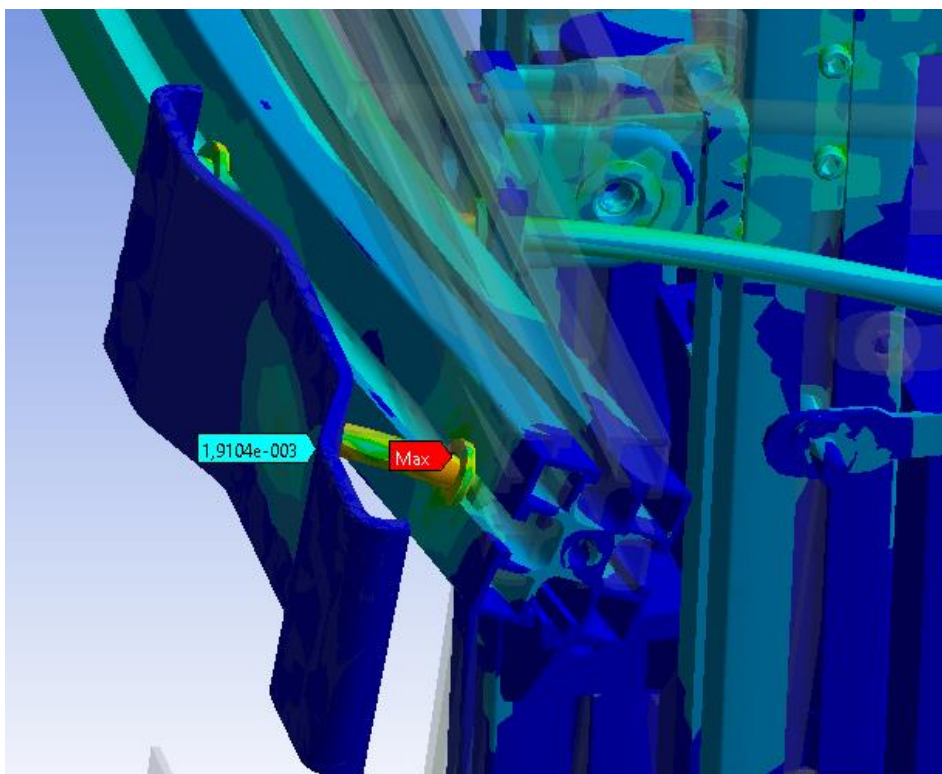
Byl použit stejný výpočtový model, jako u modální analýzy. Přesto bylo nezbytné z důvodu HW náročnosti snížit počet prvků na přibližně 645 000. Síť byla tedy oproti síti, použité v modální analýze značně modifikována. Bylo zapotřebí snížit zmenšit počet prvků, ale zároveň zachovat alespoň 3 prvky na tloušťku stěny, jinak nebylo možné výpočet provést. Výpočet vlastních frekvencí, resp. modální analýzy, potřebných pro řešení harmonické analýzy metodou modální superpozice, probíhalo s jinou, méně hustou sítí, než v předchozím případě. Výsledky se lišily v rozmezí $\pm 1,5\%$, což lze považovat za přijatelné.

Řešení harmonické analýzy probíhalo na frekvenčním intervalu 0 – 35 Hz při kroku řešení 1 Hz. Okrajové podmínky zůstaly totožné s okrajovými podmínkami, použitými při řešení modální analýzy. Zatížení bylo provedeno pomocí zrychlení ve všech třech osách. Na základě výše uvedených FFT byly s použitím obálkové metody zadány průběhy zrychlení v závislosti na frekvenci. Výsledkem řešení pak bylo vyšetření kmitání závitových tyčí, celkové kmitání celé soustavy a vykreslení napětí, vzniklého od působení dynamického zatížení.



Obr. 59 Oblast s maximální výchylkou kmitání

Maximální výchylka byla zaznamenána, jak se dalo předpokládat z výsledků modální analýzy, u konce horní závitové tyče. Harmonická analýza probíhala po již zmíněné konstrukční modifikaci, která spočívala ve zkrácení těchto závitových tyčí o 50 mm. Na základě výsledků bylo zjištěno, že maximální výchylka horní závitové tyče má hodnotu 0,038 mm při frekvenci 16 Hz.



Obr. 60 Oblast s maximálním napětím

Oblast s maximální hodnotou napětí se nachází na horním rozpěrném mechanismu. Konkrétně tedy v místě spojení přítláčného elementu a příčnicku 101030. Napětí má hodnotu 0,98 MPa při frekvenci 16 Hz. V jiných oblastech se napětí pohybuje řádově v hodnotách jednotek až desítek kPa. Lze tedy říci, že napětí vzniklé kmitáním od provozního dynamického zatížení je velmi nízké.

Jak již bylo zmíněno, byly použity stejné okrajové podmínky, jako u modální analýzy. Byly tedy použity v daných místech příkazy Displacement, které daným místem zamezí v posuvu v dané ose. V reálném případě by použití této vazby bylo možné pouze u spodního rozpěrného mechanismu, kde se opírá o kolejnice předního sedadla. V případě horního rozpěrného mechanismu, kde se opírá o vertikální část předního sedadla, je nutné vzít v úvahu, že tato část není úplně pevná, ale i po předeptnutí bude pružná. Proto by mělo být provedeno měření za pomoci lineárního motoru a siloměru, na základě kterého by bylo možné určit tuhost zmíněné části předního sedadla. Další věc, kterou by bylo potřeba zohlednit je, že přípravek není ze spodní strany v přímém kontaktu s karosérií. Na podlaze je mezi karosérií a interiérem umístěná izolace a kobercové čalounění. Lze předpokládat, že budou fungovat jako tlumič a dojde tak ke snížení amplitudy naměřeného průběhu dynamického zatížení. Měření by tedy muselo probíhat tak, že by bylo na podlaze umístěno tuhé těleso stejné hmotnosti a na něm umístěny akcelerometry, které by zaznamenávaly průběh zrychlení na čase. Tato zmíněná měření nebyly z časových důvodů realizována. Je třeba uvažovat i fakt, že při zahrnutí výše zmíněných faktorů by byl výpočet HW a časově náročnější.

4.5 ÚNAVA MATERIÁLU:

Únava materiálu je definována jako poškození součásti vlivem proměnného zatěžování. Při pevnostních analýzách byly analyzované součásti zatíženy staticky, kdy byly zatíženy pozvolně silou, která odpovídá maximálnímu provoznímu zatížení. Při reálném provozu však bude zatížení vlivem dynamických účinků kolísat. Může tedy nastat, že dojde vlivem střídavého nebo opakovaného zatížení k porušení součásti i tehdy, kdy maximální napětí je mnohem menší, než mez kluzu. Toto porušení je nazýváno únavovým porušením. Hlavním faktorem, proč k tomuto porušení za těchto podmínek došlo je skutečnost, že zatěžování bylo aplikováno po dlouhou dobu, resp. byl na součásti vykován vysoký počet tzv. zátěžových cyklů. Na základě počtu těchto cyklů rozlišujeme a typy únavy:

- Nízko-cyklová únava: $10^3 - 10^4$ zátěžových cyklů
- Vysoko-cyklová únava: $10^6 - 10^7$ zátěžových cyklů

Je tedy potřeba únavovou životnost vyšetřit nebo předpovědět. Na základě toho je známo, kdy, resp. zda vůbec dojde k únavovému poškození vlivem proměnného zatěžování během určitého časového období, resp. určitého počtu vykonaných zátěžových cyklů. Proto je zapotřebí pro toto vyšetření zvolit vhodnou metodu, kdy je zapotřebí zvážit její náročnost, související s dobou vyšetřování dané problematiky, a její výhody a nevýhody.

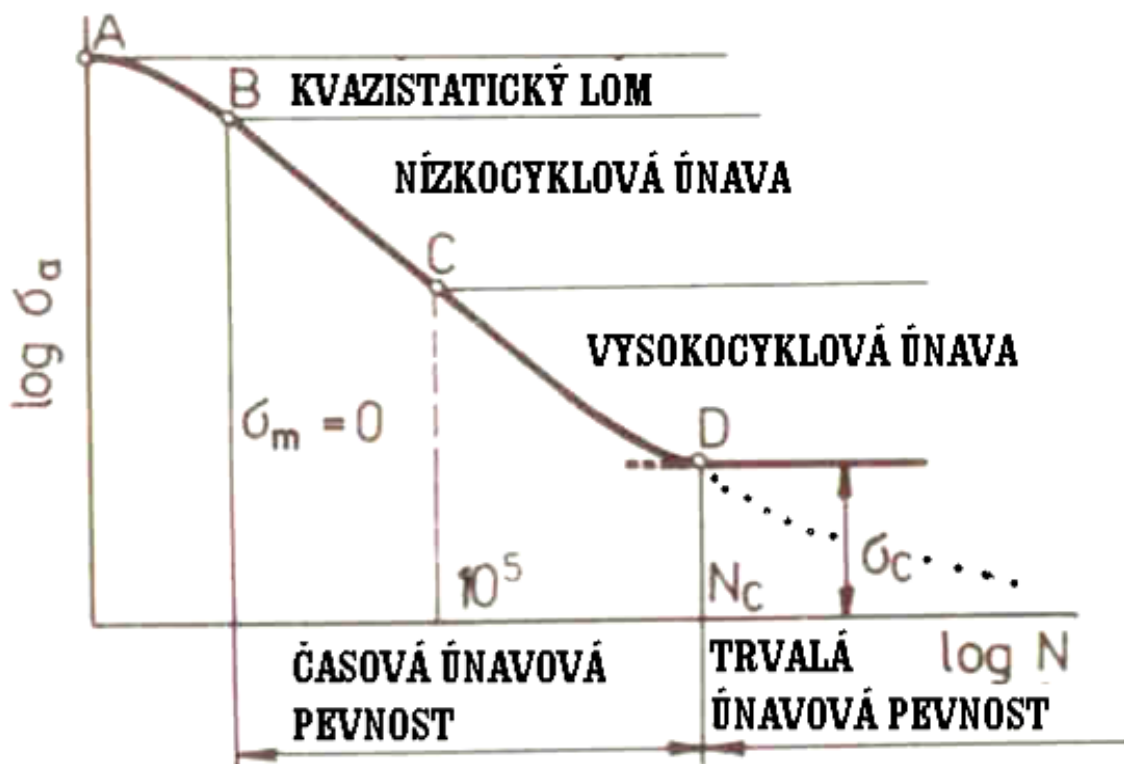
Důležité 3 metody, které jsou používány pro analýzu únavového života součástí jsou:

- Napěťový přístup
- Deformační přístup
- Lineární elastická lomová mechanika

4.5.1 NAPĚŤOVÝ PŘÍSTUP:

Napěťový přístup je považován za nejméně přesnou analýzu únavového života. Převážně tedy v oblasti nízko-cyklové únavy. Jedná se o nejstarší způsob, který odvodil v roce 1850 Augustín Wohler, který se zabýval únavovým poškozením železničního soukolí. V oblasti vysoko-cyklové únavy je však jeho použití přiměřené. Navíc umožňuje především díky rozsáhlé databázi vlastností materiálových charakteristik rychlou a snadnou analýzu únavového života.

Pro určení únavového života slouží Wohlerova křivka, která uvádí závislost amplitudy napětí na počtu cyklů do lomu (obr. 61). K vykreslení Wohlerovy křivky je zapotřebí uskutečnit řadu měření, které spočívají ve zkoumání počtu cyklů, při kterých dojde k únavovému porušení součásti při dané zatěžovací amplitudě. Zkušební vzorek je namáhám prostým ohybem bez přidavného smykového napětí za rotace. Nejprve je provedena zkouška, kdy je součást zatížena napětím, které je poněkud nižší, než mez pevnosti daného materiálu součásti. V tomto případě dojde k porušení již po pár vykonaných zatěžovacích cyklech. V grafu je pak zaznamenána hodnota napětí při zatížení pro tento počet cyklů. Tyto zkoušky se znovu opakují, přičemž hodnota napětí při zatížení následující zkoušky je vždy nižší, než u zkoušky předchozí. U oceli pak v určitém okamžiku začne mít křivka horizontální průběh. Jinými slovy, amplituda napětí přestane klesat s rostoucím počtem cyklů do lomu. Tato amplituda napětí je nazývána mezí únavy. Pro slitiny hliníku ovšem nikdy tento horizontální průběh nenastane, proto nevykazují výraznou mez únavy. Proto je u hliníkových slitin uvažována mez únavy při určitém počtu cyklů, neboli smluvní mezí únavy. Běžně se jedná o 5×10^8 cyklů [19].



Obr. 61 Wohlerova křivka oceli [20]

Tento přístup byl taktéž aplikován u vybraných součástí přípravku, které vykazovaly vyšší napětí statického zatížení při pevnostní analýze. Jednalo se o boční příčník, který byl kvůli vysokému napětí konstrukčně modifikován, a o spodní příčník spodního rozpěrného mechanismu, který byl modifikován ze stejného důvodu materiálově.

Pro výrobu bočního příčníku byl navržen materiál EN AW6005A, které má hodnotu meze kluzu R_e 235 MPa a meze pevnosti R_m 280 MPa. Na základě tab. A-24 [19] byla odhadnuta hodnota meze únavy σ_o 120 MPa. Maximální hodnota napětí dle zmíněné analýzy je 118 MPa. Dle zmíněných skutečností je součást navržena tak, aby se její únavová životnost pohybovala v oblasti vysoko-cyklové únavy, tedy v oblasti pro počet zátěžových cyklů 5×10^8 cyklů. [19], [15].

Pro posouzení únavové životnosti u spodního příčníku bylo postupováno analogicky. Pro výrobu byla použita ocel 1.0077 s mezí kluzu R_e 260 MPa a mezí únavy σ_o 230 MPa. Maximální napětí v kritickém místě má hodnotu 151 MPa. Lze tedy konstatovat, že tato součást vyhovuje z hlediska vysoko-cyklové únavy.

Je však nutné připomenout, že se jedná o nejméně přesnou metodu z hlediska posouzení únavové životnosti. Například proto, že hodnoty mezí únavy jsou zjišťovány pomocí měření na zkušebních součástech, které jsou co nejlépe vybroušeny a vyleštěny. Jsou tedy zbaveny vrubů a výčnělků. U reálné součásti tomu tak není a mohou tak kritickou oblast z hlediska únavy materiálu ovlivnit.

4.5.2 DEFORMAČNÍ PŘÍSTUP:

Tento přístup je považován jako nejvhodnější z hlediska vyšetření únavového porušení. Dle tohoto přístupu se mez pružnosti materiálu může měnit vlivem cyklicky střídavého napětí. Na zkušebním tělese jsou provedeny zkoušky, které za pomoci elektrických snímačů zaznamenávají závislost napětí na deformaci.

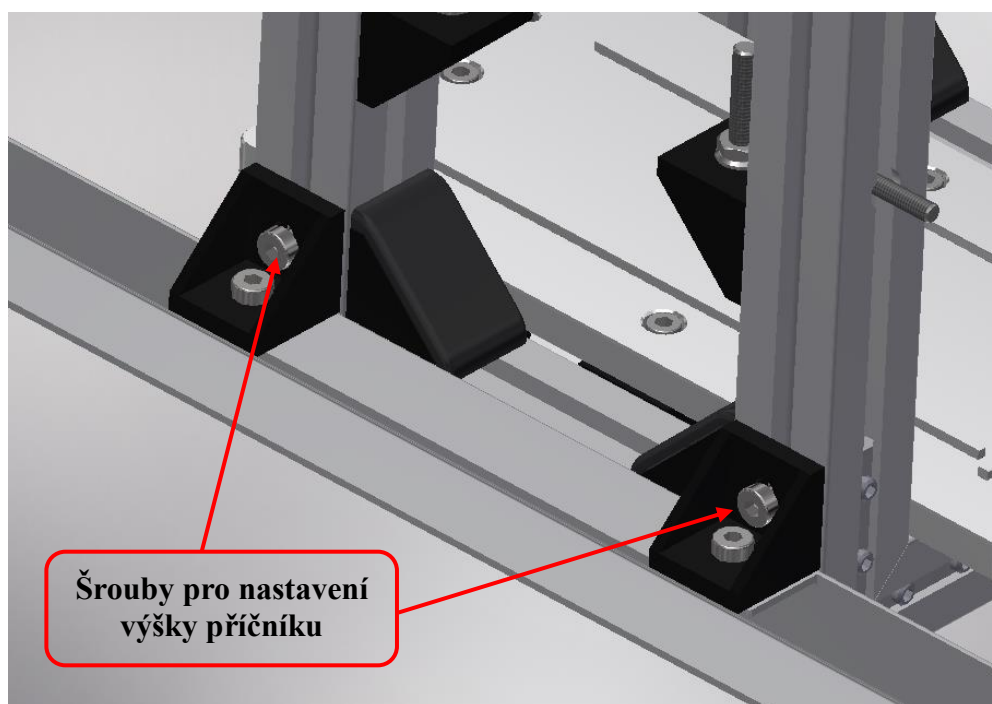
4.5.3 LINEÁRNĚ ELASTICKÁ LOMOVÁ MECHANIKA:

Lomová mechanika popisuje proces vzniku trhliny a její následné šíření vlivem cyklického zatěžování. Lineárně elastická lomová mechanika při řešení zanedbává existenci plastické deformace v okolí trhliny a předpokládá lineárně pružný materiál. Ačkoliv plastická oblast v místě trhliny se vždy vyskytuje, lineárně elastická lomová mechanika vykazuje při výpočtech dobré výsledky. To ovšem jen za předpokladu, že tato oblast plastické deformace musí být dostatečně malá. Pokud je velká, je použita elasticko-plastická lomová mechanika.

5 MONTÁŽNÍ POSTUP

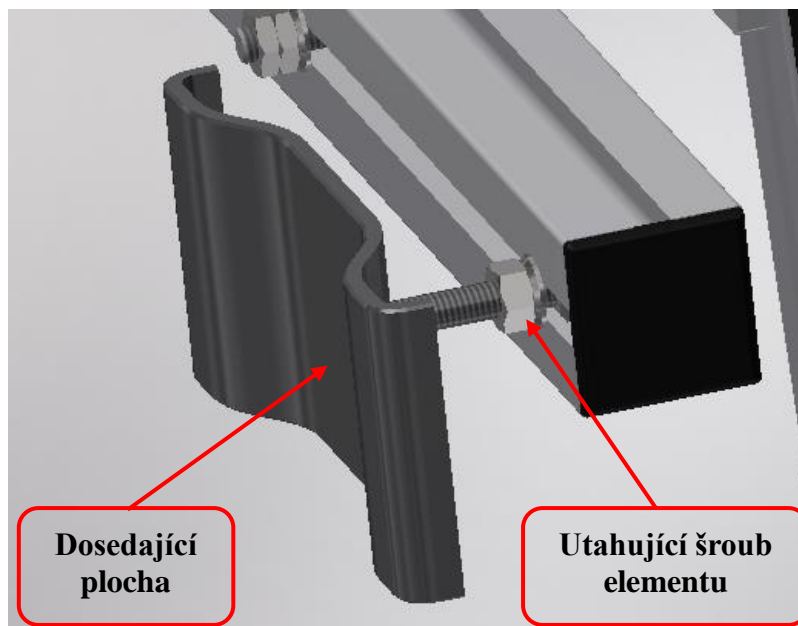
V této závěrečné kapitole bude krokově popsán přesný postup pro instalaci přípravku do interiéru automobilu a následně i vložení měřicí aparatury do přípravku.

- 1) Je potřeba kompletně vyklidit prostor, za sedadlem řidiče, včetně koberce.
- 2) Posunout přední sedadlo dopředu, aby vznikl prostor pro montáž.
- 3) Před vložení přípravku do vozu je potřeba co nejvíce minimalizovat délku rozpěrných mechanismů. Musí tedy být co nejvíce zataženy.
- 4) Vložení přípravku do připraveného prostoru za přední sedadlo. Je potřeba vložit tak, aby rozpěrné mechanismy směřovaly směrem k přednímu sedadlu.
- 5) Posunout přípravek do nejvíce do zadní části vozu směrem k zadnímu sedadlu. V případě potřeby změnit výšku zadního dorazového příčnicku.
- 6) Nastavit výšku předního příčnicku u spodního rozpěrného mechanismu pomocí příslušných šroubů tak, aby bylo možno tento mechanismus do kolejnic předního sedadla a zároveň byly závitové tyče v rovnoběžné poloze s podlahou automobilu.



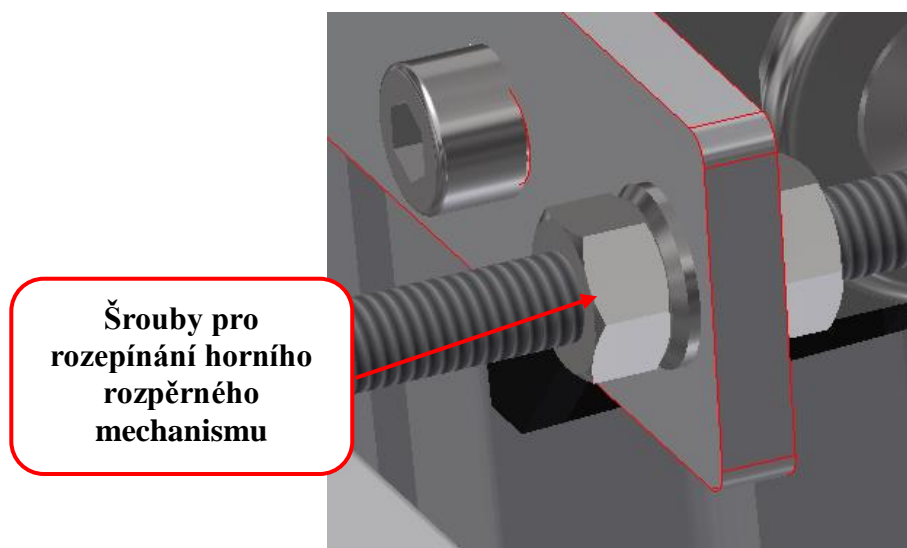
Obr. 62 Uchycení příčnicku spodního rozpěrného mechanismu

- 7) Zasadit oba elementy spodního rozpěrného mechanismu do kolejnic předního sedadla.
- 8) Pomocí šroubů na závitových tyčích spodního rozpěrného mechanismu lehce zapřít. Je nutné nastavit rozteč těchto tyčí tak, aby svíraly s příčnickem úhel 90°.
- 9) Nastavit požadovanou polohu předního sedadla tak, aby zajišťovala pohodlí posádky a zároveň nedošlo ke kontaktu s přípravkem ze zadní strany sedadla.
- 10) Pomocí šroubů na závitové tyči rozpěrného elementu nastavit rozteč těchto elementů tak, aby prolis doléhal na vyztuženou bočnici předního sedadla (viz obr. 63).



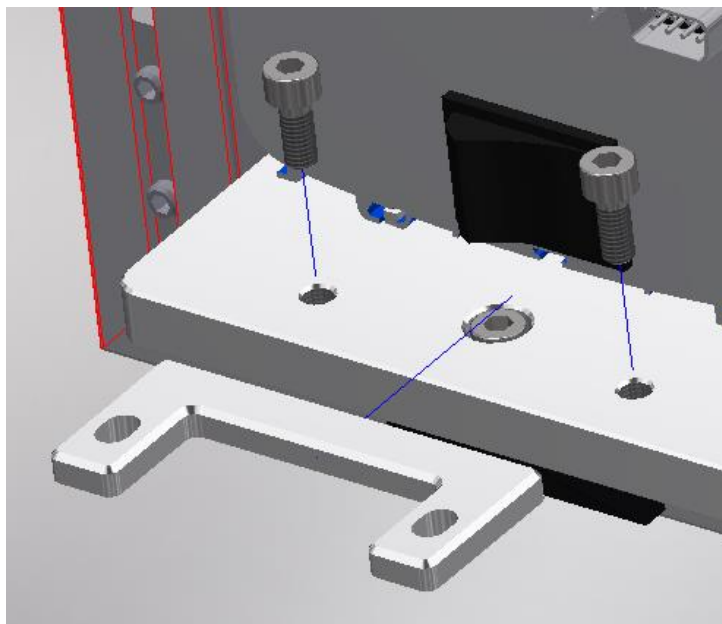
Obr. 63 Horní rozpěrný mechanismus

- 11) Po nastavení příslušné rozteče rozepnout horní utahovací mechanismus pomocí příslušných šroubů (obr. 64).



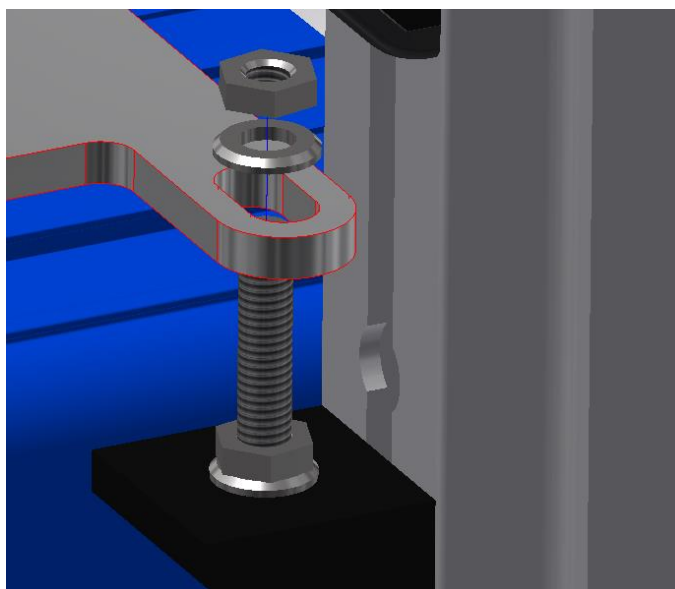
Obr. 64 Horní rozpěrný mechanismus

- 12) Zkontrolovat upnutí přípravku, zda nedochází ke vzpříčení některých částí, zda jsou závitové tyče spodního rozpěrného mechanismu v pravém úhlu se spodním příčnickem a zda je možno pokračovat v utahování.
- 13) Postupně rozepínat spodní i horní rozpěrný mechanismus, dokud nebude pevně uchycen. Po utažení již není možné manipulovat s nastavením polohy předního sedadla.
- 14) Nasunout měřicí aparaturu do přípravku z boční strany tak, aby se kolejnice na základní desce opíraly o kolejnice na aparatuře.
- 15) Zamezit bočnímu posuvu aparatury nasazením spodního příčnicku a následným dotažením pomocí dvou šroubů M5 (obr. 65).



Obr. 65 Fixace aparatury pomocí spodního bočního příčnicku

- 16) V případě potřeby umístit další aparaturu na již upnutou aparaturu v přípravku tak, aby došlo k zajištění pomocí kolejnic na měřících aparaturách.
- 17) Po umístění požadovaného počtu aparatur do přípravku zajistit proti pohybu ve vertikálním směru pomocí horní přítlačné desky. Deska je zasunuta podélně (ve směru jízdy). Musí být nasazena tak, aby její kolejnice byly v kontaktu s kolejnicemi na aparatuře a zároveň byly zasunuty šrouby do otvorů v okách přítlačné desky (viz. obr.66).



Obr. 66 Instalace horní přítlačné desky

- 18) Nasadit boční příčnicku, podložky a křídlové matice do šroubů v rámu a následně dotáhnout.
- 19) Dotáhnout horní přítlačnou desku. Pomocí šroubů M6.

ZÁVĚR

Byla provedena analýza požadovaných vlastností pro uchycení měřící aparatury IMC. Na základě toho byla provedena hodnotová analýza vývojovými inženýry karosérií a montovaných dílu Škoda Auto a.s., kde byla určena prioritita těchto vlastností. Následně byla provedena analýza možných umístění a upevnění přípravku v interiéru automobilu. Po odborné konzultaci se zadavatelem bylo rozhodnuto o umístění přípravku do prostoru za přední sedadlo z celkem 4 navržených míst možného umístění.

Na základě toho byly vytvořeny dva konstrukční návrhy pro uchycení až tří měřících aparatur IMC, které byly následně také prezentovány a konzultovány se zadavatelem. Bylo rozhodnuto o realizaci konstrukčního návrhu č. 2 převážně z důvodu nižší hmotnosti. Následně byl tento konstrukční návrh modifikován tak, aby vyhovoval všem požadavkům ze strany zadavatele. Rám přípravku byl konstruován ze stavebnicového systému hliníkových profilů Alutec KK. Jako polotovary pro zbylé součásti byly použity hliníkové slitiny, z menší části pak ocel tř. 11.

Po dokončení finální konstrukce a její následné schválení zadavatelem byly provedeny příslušné analýzy MKP. Jednalo se o pevnostní analýzu, modální analýzu a harmonickou analýzu. Pevnostní analýza byla provedena pouze na určitých součástech, které jsou vystaveny většímu zatížení. Například na samotném rámu pevnostní analýza provedena nebyla z důvodu, že jsou použité hliníkové profily používány na náročnější aplikace z hlediska zatížení. Pokud analyzovaná součást nevykazovala vysoké napětí vzhledem k mezi kluzu, nebyla pak následně modifikována. U bočního příčnicku, který byl navržen z hliníkové slitiny, bylo zjištěno vyšší napětí. Proto byl daný příčnick tvarově modifikován a následně podroben opakované pevnostní analýze. Bylo zjištěno, že díky geometrické modifikace kritické oblasti bylo snížena maximální hodnota redukovaného napětí ze 138 MPa na 118 MPa. Tato modifikace se následně ukázala být klíčová z hlediska posuzování únavové životnosti součásti. Další součástí, kde bylo indikováno vyšší napětí vzhledem k mezi kluzu daného materiálu byl spodní příčnick spodního rozpěrného mechanismu. Polotovarem pro výrobu této součásti byl hliníkový U profil o rozměrech 25x25x2 mm. Na této součásti bylo indikováno napětí 151 MPa, proto byla tato součást materiálově modifikována, kdy hliníkový polotovar byl nahrazen ocelovým při zachování rozměrů.

Následně byly provedeny modální a harmonické analýzy. Proto bylo provedeno měření, které bylo realizováno na zkušebním stavu měření dynamického zatížení ve Škoda Auto, kdy byl celý vůz upnut do hydro-pulzního zařízení, pomocí kterého na něj bylo přenášeno dynamické zatížení simulující průjezd zkušebním polygonem EHRA při zostřených podmínkách. Zatížení pak bylo naměřeno na kolejnici sedadla ve třech osách za pomocí akcelerometrů. Následně byl vykreslen Rain-flow diagram, spektrální výkonová hustota a byla provedena diskrétní Fourierova transformace pro průběh zatížení ve všech osách. Bylo zjištěno, že frekvence provozního zatížení se pohybuje v rozmezí 0 – 60 Hz. Je ovšem nutné podotknout, že zde bylo naměřeno jen zatížení od vozovky, popř. akcelerace vozu. Nejsou zde zahrnuty složky vibrací od motoru, aerodynamický odpor a hnacího ústrojí. Tyto složky se ale pohybují frekvenčně řádově jinde a nejsou pro danou problematiku tak významné. Pro výpočet modální analýzy byly sestaveny celkem 3 výpočtové modely, kdy v každém modelu byl umístěn jiný počet měřících aparatur. To z důvodu ovlivnění hmotnosti a tuhosti. Řešení u všech výpočtových modelů probíhalo při zachování stejných okrajových podmínek a stejné hustoty sítě. Bylo zjištěno, že frekvence prvních vlastních tvarů se pohybují v rozmezí 81 – 140 Hz. Provozní zatížení se tedy nevyskytuje v oblasti rezonance.

Harmonická analýza probíhala metodou modální superpozice. Musela být použita mnohem hrubší síť z důvodu hardwarové náročnosti výpočtu. Okrajové podmínky byly zachovány. Zatížení bylo realizováno za pomoci zrychlení, kdy amplituda zrychlení byla frekvenčně závislá. K tomuto průběhu posloužily výsledky diskrétní Fourierovy transformace. Za použití obálkové metody byly tyto průběhy zadány k řešení ve frekvenčním rozsahu 0 – 25 Hz a krokovou frekvencí 1 Hz. Analyzovány byly především průběhy výchylek na závitových tyčích, kde se na základě výsledků z modálních analýz ukázaly tyto oblasti jako nejkritičtější z hlediska posuvů. Bylo zjištěno, že maximální výchylka má hodnotu 0,038 mm při frekvenci 16 Hz na závitové tyči horního rozpěrného mechanismu. Tyto závitové tyče byly na základě výsledků modální analýzy zkráceny o 50 mm. Řešení harmonické analýzy probíhalo již po této modifikaci.

Vyšetřování únavy materiálu probíhalo v kritických oblastech na vybraných součástech z pevnostní analýzy. Bylo použita napěťová metoda z důvodu náročnosti. Bylo zjištěno, že maximální redukované napětí při maximálním provozním zatížení, se pohybuje pod hodnotou meze únavy daného materiálu, tedy v oblasti vysoko-cyklového zatížení.

Následně byla vytvořena výkresová dokumentace a celý přípravek byl zadán do výroby. Pro instalaci přípravku do interiéru automobilu a instalaci měřící aparatury byl vytvořen dle zadání montážní postup.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Products of measurements: IMC company. [online]. Berlin [cit. 2017-10-24]. Dostupné z: <http://www.imc-berlin.com/products/measurement-hardware/imc-c-series/device-options/>
- [2] Návod k obsluze: Škoda Kodiaq. *Car manuals* [online]. 2016, 10.2016 [cit. 2017-10-31]. Dostupné z: <https://carmanuals2.com/get/skoda-kodiaq-2017-owner-s-manual-102108>
- [3] Škoda Storyboard: Prověřit od A do Z. Škoda Storyboard [online]. 2017 [cit. 2017-10-31]. Dostupné z: <https://www.skoda-storyboard.com/cs/modely/kodiaq-cs/proverit-od-z/>
- [4] MOTYKA, J. Program pro výpočet zbytkové únavové životnosti strojních součástí s trhlinou. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 60 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Pokorný.
- [5] Autolexicon: Isofix. Autolexicon [online]. Autolexicon, 2014 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/system-isofix/>
- [6] Skoda-Auto: Octavia Elegance Plus 1.4 TSI. Skoda-Auto: Octavia Elegance Plus 1.4 TSI [online]. Ali & Sons LLC Motors Division, 2017 [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://www.skoda-uae.com/models/octavia-elegance-plus-1.4-tsi/interior>
- [7] Zádrhel ve výrobě Škody Kodiaq, dodavatel opět nestíhá vyrábět sedačky. Zádrhel ve výrobě Škody Kodiaq, dodavatel opět nestíhá vyrábět sedačky [online]. Praha: MAFRA, 2017, 8.9.2017 [cit. 2017-11-28]. Dostupné z: https://auto.idnes.cz/skoda-kodiaq-adient-sedadla-vyroba-d5k-/automoto.aspx?c=A170908_133639_automoto_fdv
- [8] VÁŇA, Petr. Montáž schránky pod přední sedačky Octavia. Montáž schránky pod přední sedačky [online]. Skoda TECHweb, 2011, 23.7.2011 [cit. 2017-11-28]. Dostupné z: <http://skoda.panda.cz/clanek.php?id=494>
- [9] SKODA SUPERB: SIÈGES POUR ENFANTS DOTÉS DU SYSTÈME TOP TETHER. SKODA SUPERB: SIÈGES POUR ENFANTS DOTÉS DU SYSTÈME TOP TETHER [online]. Voitures, 2015 [cit. 2017-11-28]. Dostupné z: http://www.efrauto.net/si_ges_pour_enfants_dot_s_du_syst_me_top_tether-2414.html
- [10] Alutec KK: Katalog. Alutec KK: katalog [online]. Alutec KK, 2017 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://katalog.aluteckk.cz/>
- [11] E-konstrukter: součinitel tření. E-konstrukter: součinitel tření [online]. e-konstrukter, 2014 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
- [12] E-hlinik: Hliníkové U profily. E-hlinik: Hliníkové U profily [online]. Pardubice: A+A Pardubice, spol. s r.o., 2014 [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/hlinikove-u-profily/kat-H300000101.html>
- [13] Zpracování měřeného signálu. Zpracování měřeného signálu [online]. Plzeň: ZČU v Plzni - Fakulta strojní, Katedra konstruování strojů, 2006 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~formanek/VYUKA/Data/Databaz.htm>

- [14] Spektrální výkonová hustota. Spektrální výkonová hustota [online]. Brno: Zerona centrum Brno, 2013 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.e-zerona.cz/vykonova-spektralni-hustota.php>
- [15] Bolzano ocel technická podpora: ocel S235JR. Bolzano ocel technická podpora: ocel S235JR [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, 2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP_prehled_vlastnosti_S235JR.pdf
- [16] Strojmetal: tabulka slitin. Strojmetal: tabulka slitin [online]. Strojmetal Aluminium Forging, s.r.o, 2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>
- [17] ŠTĚTINA, Josef, Michal JAROŠ a Pavel RAMÍK. Virtuální laboratoř - Měření: EXPERIMENTÁLNÍ MODÁLNÍ ANALÝZA. Virtuální laboratoř - Měření: EXPERIMENTÁLNÍ MODÁLNÍ ANALÝZA [online]. Brno: Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, 2003 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka06-04.htm>
- [18] Fourierova transformace. Fourierova transformace [online]. wikipedia, 2018, 8.1.2018 [cit. 2018-04-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Fourierova_transformace#Diskr.C3.A9tn.C3.AD_Fourierova_transformace
- [19] SHIGLEY, Joseph Edward, MISCHKE, Charles R. a BUDYNAS, Richard G. (ed.). Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [20] Dynamická pevnost a životnost Přednášky: Filosofie navrhování na únavu–přístupy. *Dynamická pevnost a životnost Přednášky: Filosofie navrhování na únavu–přístupy* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2013 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/11941304/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | | |
|---------------|------------------------|--|
| f | [Hz] | Frekvence |
| g | [m.s ⁻²] | Gravitační zrychlení (1 g = 9,81 m.s ⁻²) |
| \mathbf{K} | [N.m ⁻¹] | Matice tuhostí |
| k | [N.m ⁻¹] | Tuhost |
| \mathbf{K}' | [N.s.m ⁻¹] | Matice tlumení |
| \mathbf{M} | [kg] | Matice hmotností |
| m | [kg] | Hmotnost |
| N | [-] | Počet dat |
| R_e | [MPa] | Mez kluzu |
| R_m | [MPa] | Mez pevnosti |
| $s(t)$ | [s] | Signál v časové doméně |
| $S(\omega)$ | [rad.s ⁻¹] | Signál ve frekvenční doméně |
| t | [s] | Čas |
| T | [s] | Časová perioda |
| x | [m] | Vektor posuvů |
| η | [-] | Součinitel materiálového tlumení konstrukčních materiálů |
| ξ | [-] | Součinitel modálního tlumení |
| σ | [MPa] | Redukované napětí |
| σ_0 | [MPa] | Mez únavy |
| ω | [rad.s ⁻¹] | Úhlová frekvence |
| Ω | [rad.s ⁻¹] | Vlastní frekvence netlumeného systému |

SEZNAM PŘÍLOH

| | | |
|-----|------------------|-----------|
| P1 | Výrobní výkres | 4-DP-1001 |
| P2 | Výrobní výkres | 4-DP-1002 |
| P3 | Výrobní výkres | 4-DP-1003 |
| P4 | Výrobní výkres | 4-DP-1014 |
| P5 | Výrobní výkres | 4-DP-104 |
| P6 | Výrobní výkres | 3-DP-102 |
| P7 | Výrobní výkres | 4-DP-107 |
| P8 | Výrobní výkres | 4-DP-106 |
| P9 | Výkres sestavení | 4-DP-13 |
| P10 | Výrobní výkres | 3-DP-103 |
| P11 | Výrobní výkres | 4-DP-109 |
| P12 | Výrobní výkres | 4-DP-112 |
| P13 | Výkres sestavení | 2-DP-1 |
| P14 | Výkres sestavení | 2-DP-11 |
| P15 | Výkres sestavení | 4-DP-12 |
| P16 | Výrobní výkres | 3-DP-108 |
| P17 | Výrobní výkres | 4-DP-101 |
| P18 | Výrobní výkres | 4-DP-110 |
| P19 | Výrobní výkres | 4-DP-111 |
| P20 | Výrobní výkres | 4-DP-105 |