TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

KONSTRUKCE KABINY NÁKLADNÍHO AUTOMOBILU

Diplomová práce

Studijní program: N0716A270006 Automobilové inženýrství
Autor práce: **Bc. Oleg Kamenskiy**
Vedoucí práce: Ing. Pavel Brabec, Ph.D.
Katedra vozidel a motorů

Liberec 2022

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Zadání diplomové práce

KONSTRUKCE KABINY NÁKLADNÍHO AUTOMOBILU

Jméno a příjmení: **Bc. Oleg Kamenskiy**
Osobní číslo: S20000236
Studijní program: N0716A270006 Automobilové inženýrství
Zadávající katedra: Katedra vozidel a motorů
Akademický rok: **2021/2022**

Zásady pro vypracování:

1. Popište obecnou problematiku stavby kabin u vozidel. Vypracujte rešerši konstrukčních řešení kabin používaných u nákladních vozidel.
2. Navrhněte vhodnou metodu stavby kabiny na základě zadané designové studie. Při návrhu zohledněte dodržení požadavků pro zkoušení podle platných předpisů (ochranné konstrukce ROPS a FOPS).
3. Vytvořte 3D CAD koncept –model sestavy skeletu kabiny.
4. Proveďte pevnostní analýzu kabiny pomocí MKP, zhodnoťte výsledky, navrhněte případné úpravy a proveďte optimalizaci.
5. Vytvořte výkresovou dokumentaci dle dohody (model sestavy kabiny vozidla).
6. Na řešení diplomové práce spolupracujte se společností AV R&D, s.r.o.

Rozsah grafických prací: Výkresová dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran textu
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

1. APETAUR, M., ŠIMON, P.: Basic Mechanics of Car-Body Design, ČVUT, Praha 2010.
2. Vlk, F.: Karosérie motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno 2000.
3. FRYC, Jan. Konstrukce stavebnicového rámového systému pro účely mechanických zkoušek karoserie. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci. Liberec 2012.
4. REJMAN, Stanislav. Redukce hmotnosti karoserie osobního automobilu. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci. Liberec 2012.
5. NAJVAR, Petr. Snižování hmotnosti osobních automobilů na základě volby materiálů. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2009.
6. JANUŠKA, Václav. Návrh ochranného rámu kabiny ROPS na vozidle Tatra Phoenix. Diplomová práce. ČVUT. Praha 2020.
7. ZIMEK, Rostislav. Návrh ochranného rámu kabiny ROPS. Bakalářská práce, Vysoké učení technické v Brně, Brno 2019.
8. Podklady společnosti AV R&D, s.r.o..
9. běžně dostupné materiály – odborné časopisy, databáze patentů, internet.

Vedoucí práce: Ing. Pavel Brabec, Ph.D.
Katedra vozidel a motorů

Datum zadání práce: 15. listopadu 2021
Předpokládaný termín odevzdání: 15. května 2023

L.S.

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

Ing. Robert Voženílek, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 15. listopadu 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

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

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

20. května 2022 Bc. Oleg Kamenskiy

Poděkování:
Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Pavlu Brabcovi, Ph.D. za rady a informace poskytnuté pro zpracování diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat kolegům ze společnosti AV R&D, s.r.o. za možnost přístupu k informacím pro zpracování diplomové práce. Jmenovitě pak děkuji panu Ing. Pavlu Tomáškovi, který byl firmou přidělen k tomuto projektu a poskytl veškeré odborné konzultace, včetně technických podkladů. Hlavně děkuji svým rodičům za podporu během studia.

KONSTRUKCE KABINY NÁKLADNÍHO AUTOMOBILU

Anotace

Cílem diplomové práce je navrhnout vhodnou metodu stavby kabiny pro ověření přípustnosti k provozu. Úloha dané práce spočívá v provedení vývoje kabiny a následné pevnostní analýzy. V práci je popsána obecná problematika stavby kabin nákladních vozidel včetně možností provedení a výroby.

Klíčova slova: Kabina, konstrukce, navrhování, zkoušení, homologace, nákladní automobil.

CONSTRUCTION OF TRUCK CABIN

Annotation

The aim of the diploma thesis is to design a suitable method of cabin construction to verify the admissibility for operation. The task of the thesis consists in cabin development and following stress analysis. The work describes the general issues of truck cabin construction, including design and production options.

Keywords: Cabin, construction, design, testing, homologation, truck.

Seznam symbolů a jednotek

	Význam	Jednotka
A	Tažnost	[%]
E	Youngův modul pružnost E	[MPa]
U	Deformační energie	[J]
F	Síla	[N]
g	Gravitační zrychlení	$[\mathrm{m/s^2}]$
h	Výška pádu	[m]
l	Vzdálenost	[mm]
m	Hmotnost vozidla	[kg]
$\mathrm{m_t}$	Hmotnost zkoušecího tělesa	[kg]
$\mathrm{R_e}$	Mez kluzu v tahu	[MPa]
$\mathrm{R_m}$	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
t	Čas	[h]
Δ	Deformační posunutí	[mm]
ε	Poměrné prodloužení	[-]
μ	Poissonovo číslo	[-]
ρ	Hustota materiálu	$[\mathrm{kg/m^3}]$

Seznam zkratek

CAD	Computer Aided Design
ČSN	České Technické Normy
EHK	Evropská Hospodářská Komise
FOPS	Falling-object Protective Structure
KVM	Katedra Vozidel a Motorů
KTL	Kataforézní Lakování
MKP	Metoda Konečných Prvků
ROPS	Roll-Over Protective Structures
TUL	Technická univerzita v Liberci

OBSAH

1. Úvod 11
2. Funkční souvislosti a koncepce karoserií 12
2.1. Požadavky na konstrukci karoserie a bezpečnost 12
2.2. Umístění osob v kabině vozidla 13
2.3. Rozdělení typů kabin nákladních automobilů podle účelu pro aplikaci ... 15
2.3.1. Denní kabiny 15
2.3.2. Spací kabiny 16
2.3.3. Posádkové kabiny 17
2.4. Přehled materiálů pro stavbu kabin 17
2.4.1. Použití konstrukčních oceli pro stavbu karoserie 18
2.4.2. Použití slitin hliníku pro stavbu karoserie 18
2.4.3. Použití plastů pro stavbu karoserie 19
2.4.4. Přehled technologií pro stavbu kabin 19
2.4.5. Antikorozní zpracování dílů karoserie 19
3. Vytvoření konceptu modelu sestavy skeletu kabiny 20
3.1. Vytvoření profilového modelu 20
3.2. Konstrukce sestavy svařence kabiny 21
3.2.1. Konstrukce podsestav podélníků 22
3.2.2. Konstrukce podsestav bočnic 23
3.2.3. Konstrukce skupiny zadní stěny 25
3.2.4. Konstrukce podsestav podokenního a nadokenního příčníku 26
3.2.5. Konstrukce podsestavy rámu střechy 27
3.2.6. Konstrukce skupin podlahy, krytu motoru a jejich výztuh 29
3.3. Konstrukce sestavy lepení kabiny 31
4. Pevnostní zkoušení kabiny nákladního vozidla 32
4.1. Výpočtový model kabiny nákladního vozidla 32
4.2. Definování úlohy pro MKP výpočet zkoušky ROPS 36

4.3. Hodnocení výsledků MKP výpočtu zkoušky ROPS 39
4.4. Definování úlohy pro MKP výpočet zkoušky FOPS 42
4.5. Hodnocení výsledků MKP výpočtu zkoušky FOPS.....45
5. Závěr.....48
Seznam použitých zdrojů 50
Seznam výkresů 51
Seznam příloh 52

1. Úvod

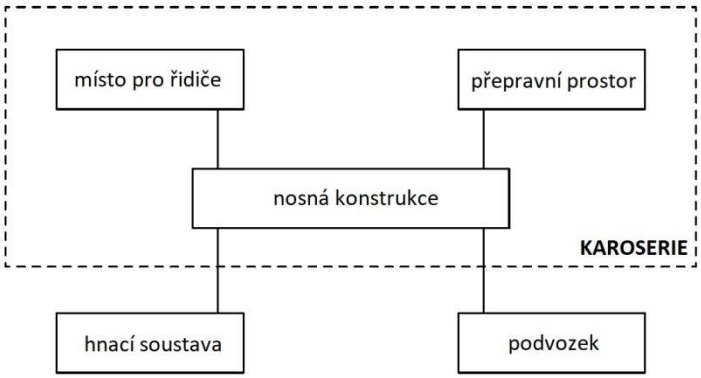
Konstrukce kabiny nákladního vozidla spočívá ve splnění požadavků kladených na funkčnost, spolehlivost, životnost atd. Proto je potřeba provést průzkum metod používaných u konstrukce kabin nákladních vozidel, technologií a materiálů pro jejich výrobu s cílem zvolit vhodnou možnost návrhu rámu kabiny a provést její konstrukci.

Následně je potřeba ověřit pasivní bezpečnost rámu kabiny pomocí zkoušek ROPS a FOPS. Zkouška ROPS slouží ke zjištění stavu poškození kabiny v případě převrácení vozidla v důsledku nehody za působení různých zatěžovacích stavů. Zkouška FOPS se provádí za účelem kontroly ochrany střechy kabiny proti padajícím předmětům. Pevnostní kontrola bude probíhat pomocí výpočtů MKP v softwarovém prostředí MSC Marc/Mentat. Stavy zatížení a omezení prostoru deformace jsou předepsány podle používaných norem ČSN EN ISO 3471 pro zkoušku ROPS a ČSN EN ISO 3449 pro zkoušku FOPS. Požadavek na dané normy vyplývá z homologačního předpisu „Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK/OSN) č. 29 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska ochrany cestujících v kabině užitkového vozidla [2019/1850]“, který stanovuje potřebu provedení zkoušek tohoto typu. [1]

Návrh rámu kabiny a provedení simulačních výpočtů bylo provedeno ve spolupráci se společnosti AV R&D, s.r.o.

2. Funkční souvislosti a koncepce karoserií

Rám kabiny slouží jako součást nosné konstrukce u karoserie, která je jednou ze základních složek vozidla a zajišťuje místo pro řidiče a přepravu dalších osob. U nákladních vozidel přepravní prostor tvoří oddělená jednotka, která je umístěna mimo kabinu.

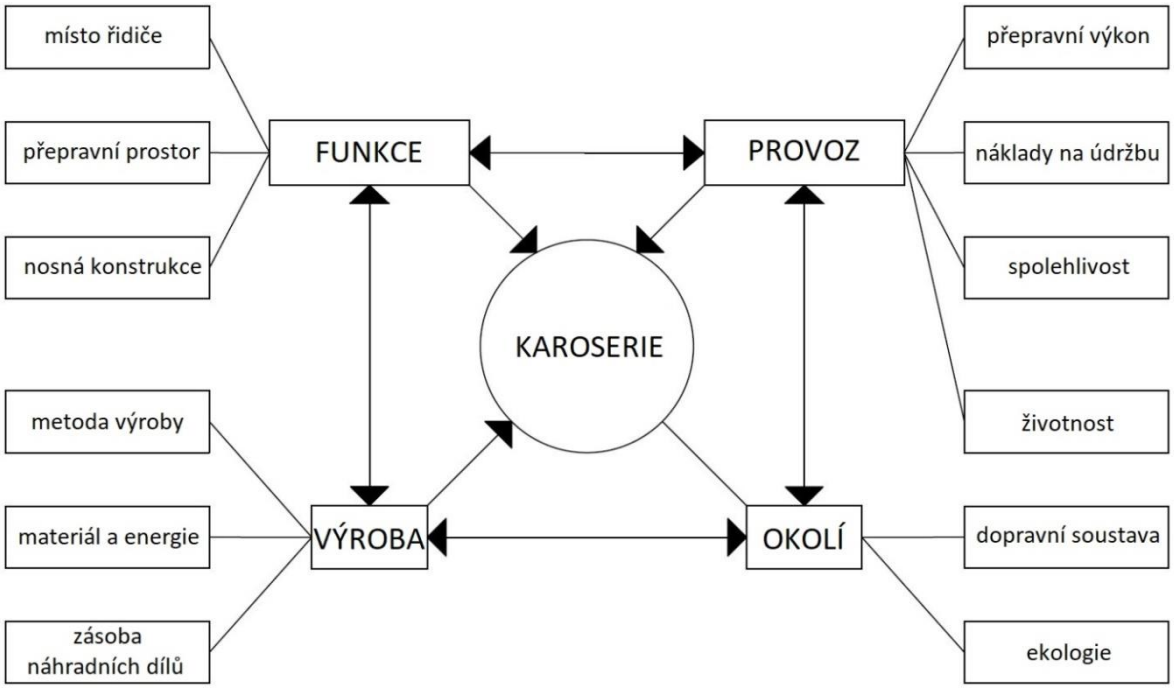


Obr. 1. „Funkční složky motorového vozidla.“ [2]

2.1. Požadavky na konstrukci karoserie a bezpečnost

Konstrukce kabiny musí splňovat požadavky, které jsou na ní kladeny jako na součást karoserie. Do těchto požadavků patří:

- Ochrana řidiče a posádky proti působení vnějších vlivů;
- Zajištění aktivní a pasivní bezpečnosti karoserie;
- Omezení vibrací a hluku;
- Estetický vzhled interiéru a exteriéru;
- Správně zajištěná ergonomie posádky;
- Snadné ovládání a dosažitelnost řídících přístrojů a zařízení;
- Zajištění pohodlných klimatických podmínek uvnitř karoserie;
- Snaha dosáhnout co nejnižšího aerodynamického součinitele;
- Vysoká životnost a spolehlivost a další.



Obr. 2. „Požadavky na karoserii.“ [2]

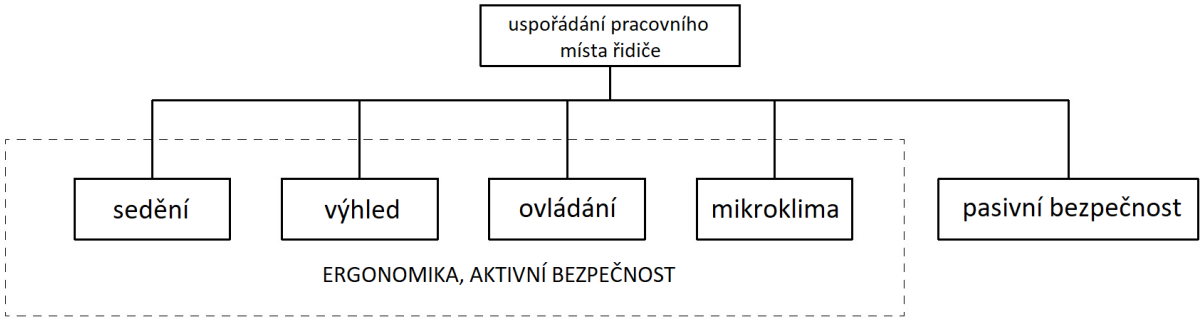
Tyto požadavky souvisejí nejenom s funkčností kabiny, ale také se zásadami provozní bezpečností. K těmto zásadám patří nároky na aktivní a pasivní bezpečnost. Aktivní bezpečností jsou myšlena opatření, které snižují pravděpodobnost vzniku dopravní nehody. Následně pod pojmem pasivní bezpečnost se rozumí opatření zmenšující následky nehody. [2]

2.2. Umístění osob v kabině vozidla

Ergonomie má podstatný vliv na aktivní bezpečnost vozidla, která musí být zajištěná správnou konstrukci kabiny. Ergonomie je mezioborová disciplína, která kombinuje v sobě znalosti z psychologie, antropometrie, fyziologie práce, hygieny a bezpečnosti práce a tak dále. Souhrn informací z těchto oblastí pomáhá posoudit, jestli kabina je přípustná pro lidské použití z hlediska možností člověka. Cílem ergonomie je zajištění maximální bezpečnosti pro jezdce a minimalizace vykonané práce řidičem za provozu.

Mezi ergonomickými zásadami při navrhování kabiny patří „zajištění geometricky správného sedění a umístění ovládacích orgánů, zajištění fyziologicky správného podepření těla, určení vhodných ovládacích sil a pohybů, vhodné vytvoření ovládacích pák a tlačítek, vhodné vytvoření a uspořádání kontrolních přístrojů, zajištění dobrého vidění a signalizace“. [2]

Umístění řidiče v karoserii je komplexní konstrukční úkol, jehož součásti jsou znázorněný na obrázku níže.



Obr. 3. „Faktory ovlivňující vytvoření pracovního místa řidiče“. [2]

Sedadlo slouží k účelu vhodného sedění řidiče a přepravovaných osob během jízdy a přenosu značné části tíhy lidské hmotnosti. Proto musí splňovat anatomické, fyziologické, pevnostní a požadavky na tlumení vibrací. Nejdůležitějším bodem při projektování umístění řidiče je určení vzájemného vztahu mezi seděním řidiče a ovládacími prvky jako volant, pedály, řádící páka atd. Dalším bodem je zajištění správného výhledu z vozidla pro „vidění“, které rozlišujeme do tři oblasti: zorné pole, pohledové pole a rozhledové pole. Zorné pole je část prostoru, kterou vidíme pří klidném pohledu bez pohybu oka a hlavy. Pohledové pole popisuje oblast, kterou vidíme při klidné hlavě a pohybujících se očích, zatímco rozhledové pole zahrnuje navíc pohyb hlavy. Mikroklima je nezbytnou skutečností na splnění fyziologických požadavku. V případě vozidel se jedná o prostředí v interiéru, kde se nachází člověk během posádky uvnitř. Mikroklima automobilu je určováno parametry jako teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlostní proudění vzduch a čistotou vzduchu. Hlavní vliv na mikroklima mají klimatické podmínky, ve kterých vozidlo je provozováno (např. Roční období).

2.3. Rozdělení typů kabin nákladních automobilů podle účelu pro aplikaci

Existuje několik druhů kabin dle jejich aplikace. Mezi základní kategorie patří kabiny denní, spací a posádkové. Jednotlivá provedení mají odlišné vlastnosti, které ovlivňují postup vývoje kabiny v závislosti na funkčních potřebách a požadavcích na splnění homologace.

2.3.1. Denní kabiny

Denní kabiny jsou používány u nákladních vozidel, kdy není potřeba mít prostor na spánek z aplikačních důvodů. Příkladem tohoto typu kabin je kabina nákladního vozidla TATRA PHOENIX. Model využívá kabiny dodávané společnosti DAF TRUCKS. Jsou to zejména trambusové kabiny, kde řidič je umístěn buď nad přední nápravou, nebo před ní. Pro snížení vibrací a zvýšení komfortu přepravovaných osob jsou kabiny pneumaticky odpružené. Existuje řada nabídek vybavení interiéru. Do kategorie denních kabin se dá zařadit dvoudveřové a čtyřdveřové provedení.

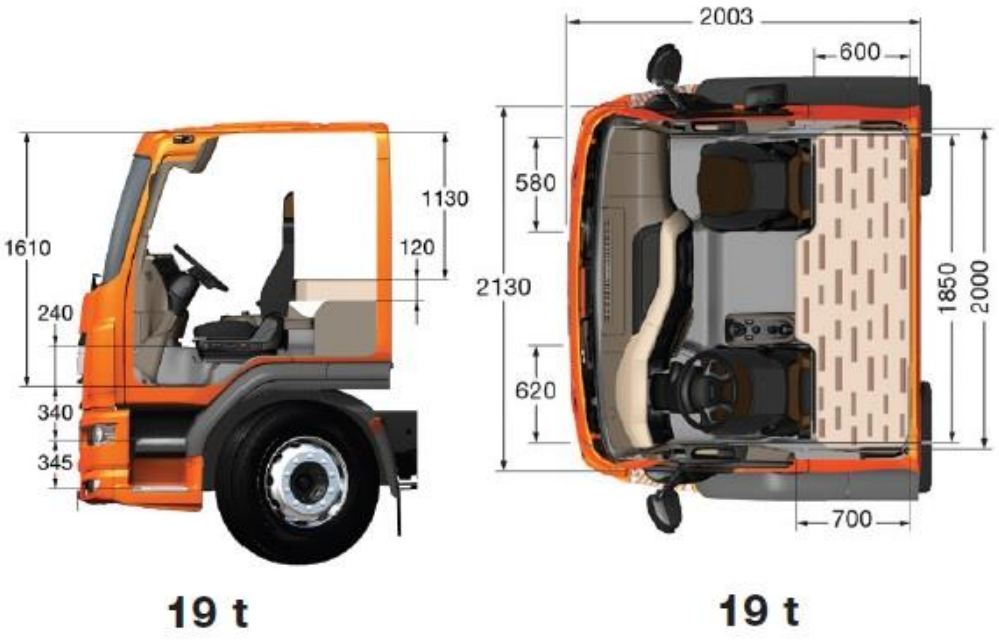
Dvoudveřové modely obvykle mají od dvou do tří míst pro umístění jezdících osob. Jsou také varianty uspořádání s dalším prostorem, který je možné vybavit dalšími zařízeními dle požadavků zákazníka.

Obr. 4. Dvoudveřová a čtyřdveřová kabina vozidla TATRA PHOENIX. [3]

V případě čtyřdveřové kabiny lze dosáhnout celkem od šesti do osmi míst včetně řidiče. Zpravidla tento typ kabin je používán pro průmyslové nebo zemědělské účely. Proto vzniká potřeba vybavovat tato provedení přídavnou ochranou kabiny a posádky podle pravidel ROPS/FOPS.

2.3.2. Spací kabiny

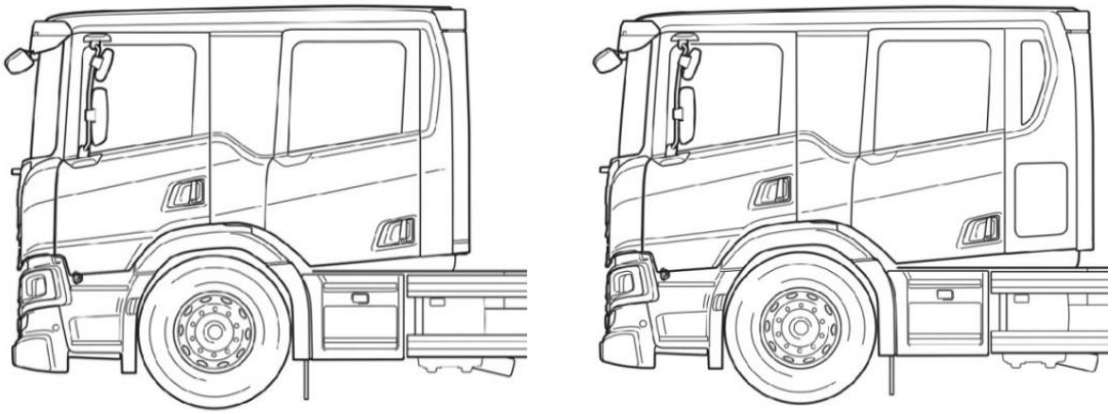
Spací kabinou je rozumět provedení, jehož funkčním cílem je kontinuální přeprava osob s možností spánku uvnitř kabiny. Dá se tyto konstrukce kabin rozdělit podle rozměru vnitřního prostoru, počtu spacích lůžek a přídavného vybavení. Ukázkou zde může být kabina nákladního vozidla DAF z řady LF EURO 6, která má dvě posádková místa a jedno spací lůžko. Geometrie kabiny je uvedena na následujícím obrázku.



Obr. 5. Geometrické uspořádání kabiny DAF z řady LF EURO 6. [4]

2.3.3. Posádkové kabiny

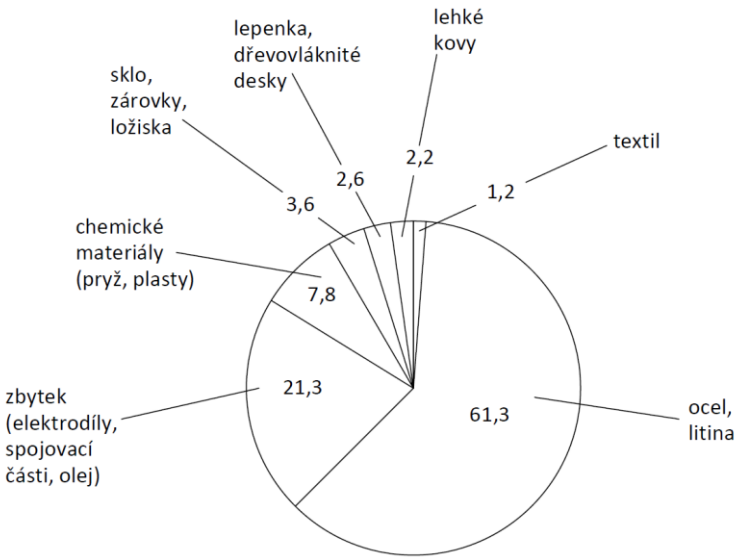
Posádkové kabiny jsou použitelné v případech, kde jako funkční úkol je považována přeprava více osob najednou. Zpravidla vpředu jsou dvě nebo tří místa. Vzadu se nachází dvě lavice pro posádku do osmi osob, což je hlavní odlišností vůči čtyřdveřové denní kabiny. Tyto kabiny jsou typicky používány u hasičských vozidel. Koncepce posádkové kabiny je realizována u modelové řady Scania CrewCab, která plně splňuje požadavky na ergonomii, bezpečnost a funkčnost pro hasičskou aplikaci. Kabiny pro vozidlo Scania CrewCab jsou vyráběny ve dvou provedeních: Scania CrewCab s délkou kabiny 3265 mm a CrewCab Long s délkou 3645 mm. Obě dvě varianty mají stejnou výšku 2920 mm. V kabině jsou celkem šest míst na posádku. Dvě jsou ve přední části a čtyři jsou v zadní části kabiny.



Obr. 6. Kabiny modelové řady Scania CrewCab v obou možných provedeních. [5]

2.4. Přehled materiálů pro stavbu kabin

Skupina materiálů pro stavbu karoserii zahrnuje v sobě jednu z nejširších nabídek používaných pro výrobu strojírenských konstrukcí. Patří mezi nimi hlavně konstrukční oceli, litiny, lehké kovy, plasty, pryže, sklo a tak dále. Pro zajištění co nejdelší životnosti má velký význam ochrana proti korozi. Volba materiálů také má podstatný vliv na výslednou konstrukci. Tím se dá ovlivnit hmotnost, kvalitu, pevnost, technologičnost výroby a cenu konečného výrobku.



Obr. 7. Kruhový procentuální diagram použití materiálů pro stavbu karoserií. [2]

2.4.1. Použití konstrukčních oceli pro stavbu karoserie

Většina dílů karoserie vozidla jsou vyráběná z ocelových plechů buď ve formě ohýbaných plechů, trubek, výkovků, odlitků nebo normalizovaných profilů. Mezi důvody pro výrobu součásti kabiny karoserií z konstrukčních ocelí patří vysoká pevnost, snadná tvářitelnost a svařitelnost, dlouhá životnost při antikorozním zpracování a poměrně nízká cena materiálů.

V současné době je snaha vyvíjet kabiny, které splňují požadavky a zároveň mají co nejnižší možnou hmotnost. Pro řešení daného problému se používá metoda “Tailored Blank”. Tato metoda je zaměřená na efektivní využití různých druhů oceli ve fázi vývoje. Toho jde docílit využitím speciálních vlastností jednotlivých materiálů pro účel snížení celkové hmotnosti a zároveň zvýšení tuhosti výrobku v potřebných místech. Příkladem této metody je použití ocelových plechů o tloušťkách 1 až 6 mm a mezi pevnosti 235 až 355 MPa, ze kterých bude vyrobena svařovaná konstrukce.

2.4.2. Použití slitin hliníku pro stavbu karoserie

Použití lehkých kovů má stále rostoucí uplatnění hlavně z důvodu hmotnostní optimalizace konstrukce. Hliníkové slitiny jsou dražší než běžně používané oceli, ale náklady na technologické zpracování jsou výrazně nižší díky snadné deformovatelnosti. Daný druh materiálů není používán u nosných částí

konstrukce kvůli nižší pevnosti oproti ocelím. Na druhou stranu slitiny hliníku mají vynikající korozní odolnost. Toho je možné využit u lakovaných vnějších dílů jako krycí plechy dveří, střechy, bočních stěn, zadních stěn, kapoty, nárazníků atd.

2.4.3. Použití plastů pro stavbu karoserie

V dnešní době počet součástí karoserie vyráběné z plastů se stále zvětšuje. Většinou to jsou díly umisťované v interiéru vozidla, např. panely přístrojových desek. Velkou výhodou plastů je jejich tvarová přizpůsobivost, která umožňuje navrhovat tvarově složité díly s poměrně vysokou pevností a nízkou hmotností. Naopak plasty mají řadu nevýhod, mezi které patří cena, obtížná výroba, montáž a oprava.

2.4.4. Přehled technologií pro stavbu kabin

S velkou nabídkou materiálů přichází i široké pásmo technologií používaných pro výrobu kabin nákladních vozidel, které jsou pro různé skupiny materiálů odlišné. Pro uzavřené ocelové profily je tradičním řešením použití řezání laserem, svařování tavnou elektrodou a ohýbání. Plechové součásti z oceli a lehkých kovu jsou vyráběny technologií lisování. Montáž krycích plechů se zpravidla provádí pomocí lepení a nýtování. Plastové díly interiéru se vyrábí tvarováním, lisováním a vstřikováním.

2.4.5. Antikorozní zpracování dílů karoserie

Korozní odolnost je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňujících životnost karoserie. Do těchto opatření se dá zařadit zajištění těsnosti dílu karoserie proti působení vnějších vlivů, provedení povrchových uprav (např. zinkování) pro nejvíce ohrožované součásti atd. Existuje několik technologií, kterými se realizují antikorozní opatření. Jednou z nejvíce používaných je tzv. kataforézní lakovaní. Její princip spočívá v ponoru svařence karoserie do lázně, kde se nachází několik elektrod připojených do zdroje napětí. Zpravidla se to provádí na principu pohybu nabitých částic barvy z kladné elektrody (anody) směrem ke karoserii připojené na záporné elektrodě (katodě). Výhodami kataforézního lakování jsou vysoká účinnost, ekologičnost a velmi dobra kvalita povrchu. [2]

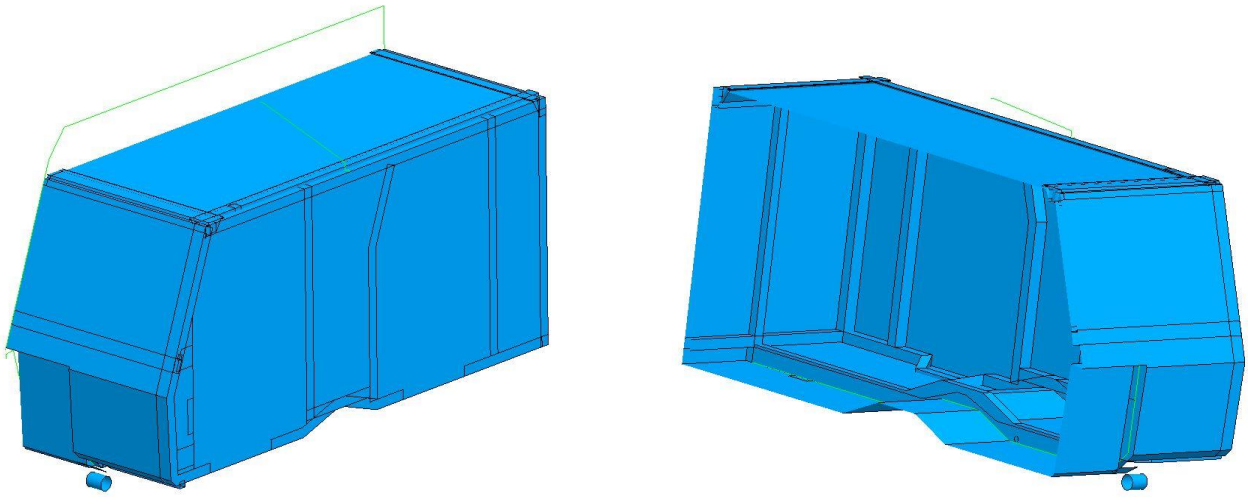
3. Vytvoření konceptu modelu sestavy skeletu kabiny

Zpracování dané kapitoly spočívá v provedení konstrukčního návrhu skeletu kabiny a v následném popisu procesu jeho návrhu. Skelet kabiny se skládá z několika úrovní podsestav. Na nejnižší úrovní se nachází sestava svařence kabiny, jejíž základní tvar je určený profilovým modelem. Tato sestava tvoří základ kabiny, na který navazuje vývoj vyšších úrovní sestav. Nejvyšší úroveň sestavy představuje sestava lepení, která je výsledným produktem vývoje kabiny nákladního vozidla**.** Jedním z cílů vypracování praktické části dané diplomové práce byl konstrukční návrh kabiny, která by mohla projít výběrovým řízením pro posádkovou hasičskou kabinu pro šest až osm osob. V tomto případě se jedna o konstrukci a výrobu jednoho prototypu pomocí technologií, které budou postupně popsány v dané kapitole.

3.1. Vytvoření profilového modelu

Jednou ze prvotních fází návrhu je sestavení profilového modelu, který především odpovídá hlavním rozměrům v souladu s designovým návrhem a hliněným modelem vytvořeným na základně designu. Zpravidla to se provádí v CAD systému pomocí tzv. “sweepování“, jehož principem je vytahování určitého průřezu po definované draze v prostoru. Na příkladu této kabiny je vidět, že profilový model určuje základní tvar kabiny. Prvním krokem je modelování tzv. “skeletonu“, jehož cílem je nadefinovat vnějších tvar kabiny pomocí rozměru délky, šířky a výšky. Dále je potřeba určit tvar a polohu podélníku, která bude mít rozhodující vliv na spojení kabiny s rámem vozidla. Podobně se provádí modelování tvaru bočnice, kde je podstatné zadat tvar rámu tak, aby byl schopen splnit požadavky při homologačním zkoušení. Další zásadou je určit dostatečný prostor pro dveře kabiny v souladu s ergonomií posádky. Následně se modeluje skupina profilů pro zadní stěnu kabiny, jejíž funkční úlohou je propojování podélníků s bočnicí. Také je potřeba nadefinovat tvar nosných obdélníkových profilů pro rám střechy v souladu s designovými a pevnostními požadavky. Posledním krokem se zadává tvar podokenního a nadokenního příčníků, které slouží k propojení bočnic, podélníků a uchycení čelního skla.

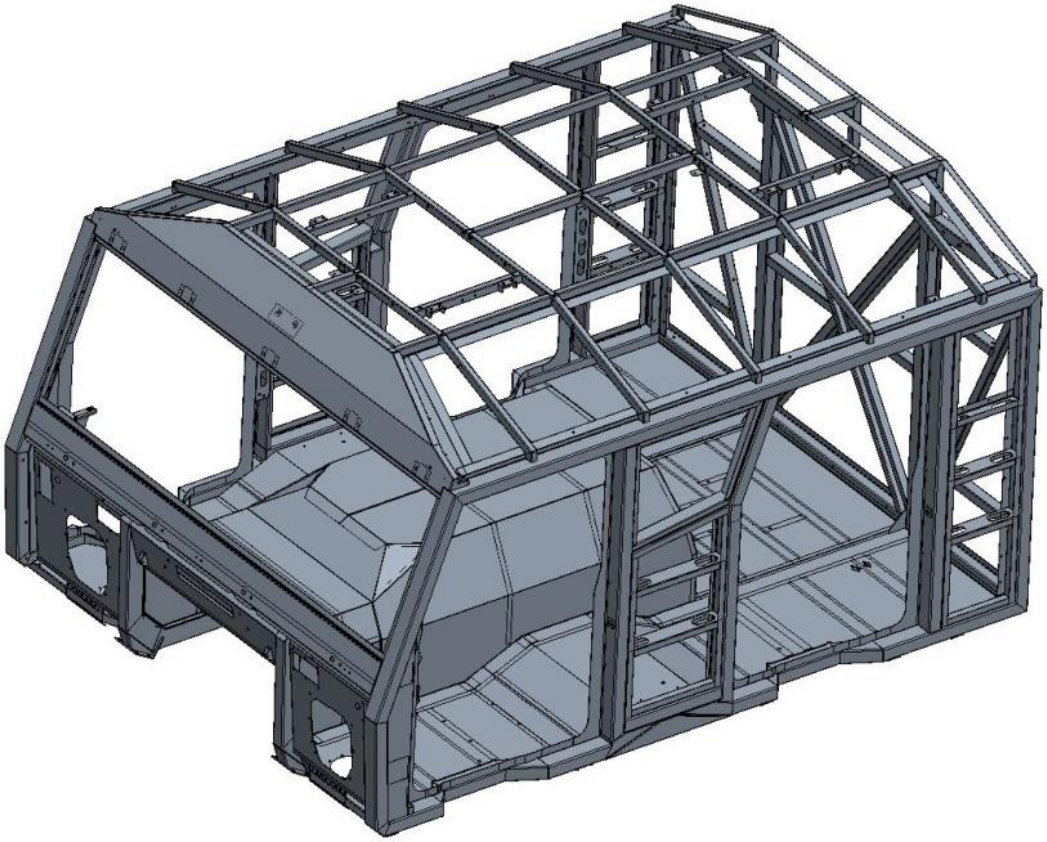
Díky konkrétní poloze základních konstrukčních skupin se dá postupně navazovat návrh dalších součásti pro splnění konstrukčního zadání za dodržení podmínek designu. Zpravidla tvar profilového modelu je určen pouze pro jednu polovinu kabiny s cílem dosáhnout co nejvíce symetrické konstrukce.



Obr. 8. Profilový model pro kabinu nákladního vozidla.

3.2. Konstrukce sestavy svařence kabiny

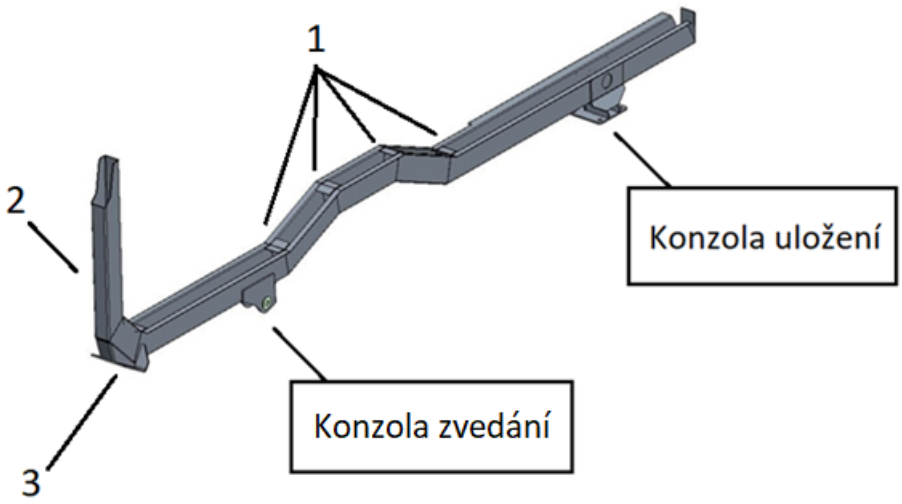
Druhá fáze návrhu kabiny nákladního vozidla spočívá v návrhu sestavy svařence. Hlavním cílem je provést konstrukci tak, aby splňovala celou řádu požadavků, do kterých patří schopnost absorbovat deformační energii pro následné splnění homologačních zkoušek, dodržení pravidel pro ergonomii posádky, uzavřenost konstrukce za účelem antikorozní odolnosti. Také je potřeba uvažovat funkční souvislosti kabiny s dalšími prvky vozidla jako rám, hnací ústroji včetně motoru a převodovky, zavěšení kol, směrové řízení, elektronické prvky, díly interiéru a apod. Další faktor, který má podstatný vliv na proces návrhu sestavy svařence je hmotnost. V současné době je snaha docilovat co nejmenší hmotnosti, ale z toho vzniká nutnost hledání kompromisu s bezpečnosti kabiny při splnění homologačních zkoušek. Toho se dá docílit pomocí použití vysokopevnostních materiálů při výrobě kabiny. Sestava svařence se skládá z několika skupin, které postupně budou popsány v této kapitole.



Obr. 9. CAD model sestavy svařence.

3.2.1. Konstrukce podsestav podélníků

Postup návrhu svařence zpravidla začíná na levém podélníku. Tvar a poloha podélníku vychází z profilového modelu, který byl již dříve nadefinován. Obecně daná sestava je vyvinuta jako svařenec několika obdélníkových profilů řezaných laserem, na které se přivaří další konzoly pro uložení s rámem nákladního vozidla pomocí ručního obloukového svařování. Na obrázku č. 10 je vidět, že v zadní části levého podélníku je umístěna tzv. „konzola uložení“. Tato konzola se skládá z několika plechů, které se svaří s profilem obdélníku a jeden z plechů má čtyři otvory pro šroubové spojení M12 s rámem celého vozidla. Ještě se tam objevuje tzv. „konzola zvedání“, která v sobě zahrnuje jeden ohnutý plech navařovaný na podélník a dva čepy pro propojení s podvozkem.



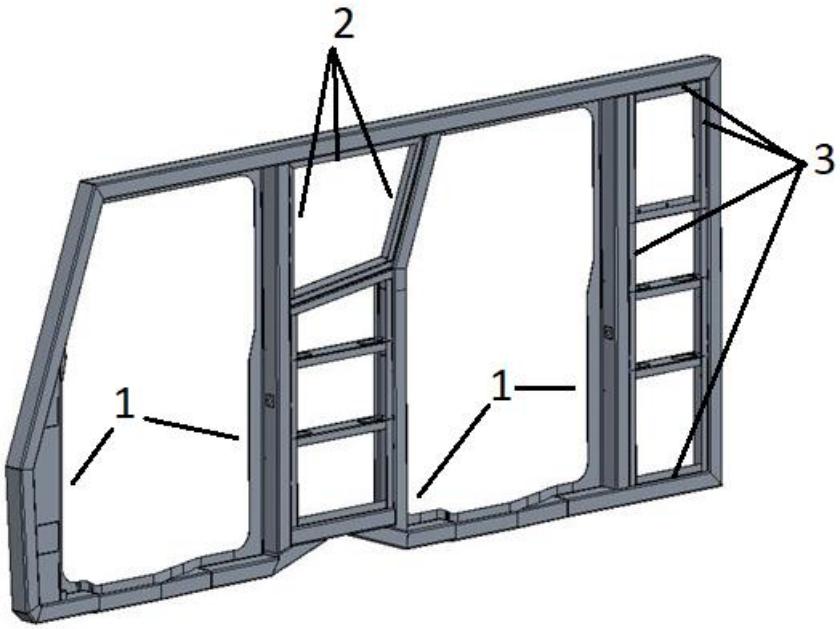
Obr. 10. CAD model podsestavy levého podélníku.

Samotný podélník je výroben jako svařenec několika plechů o tloušťce 2 mm, které byly zvoleny jako náhradní možnost použití jeklových profilů. V místě styku jednotlivých plechů byly přidány plechy (č. 1 podle obrázku č. 10) o stejné tloušťce pro zajištění vyšší tuhosti v místech svarů. Výjimkou tady je profil v přední části podélníku (č. 2 podle obrázku č. 10) o rozměrech 80x60x3 mm, který slouží k zajištění svarového spoje s podokenním příčníkem. Další funkcí je spojení profilu podélníku s plechy, které jsou určeny pro uzavření prostoru mezi krytem motoru a podokenním příčníkem (víz kap. 3.2.6). Posledním krokem konstrukce podélníku je navařování dvou plechů o tloušťce 2 mm, které slouží k propojení se silentbloky vepředu vozidla za účelem redukce vibrace v kabině pro zajištěni pohodlí pro posádku (č. 3 podle obrázku č. 10). Realizací pravého podélníku je myšlena podobná konstrukce, již obsahuje stejné komponenty a je symetrická vůči rovině středu kolem osy přímého pohybu vozidla.

3.2.2. Konstrukce podsestav bočnic

Ve druhé fázi konstrukce svařence kabiny se také řešily tvar a a poloha bočnice, a to na základě profilového modelu. Na začátku byly nadefinovány tvary ohýbaných a řezaných laserem obdélníkových profilů o rozměrech 80x60x3 mm, které určí vnější tvar bočnice odpovídající rozměrům profilového modelu. Dále jsou modelovány ohýbané plechy určující prostory pro přední a zadní dveře a prostor mezi nimi (č. 1 podle obrázku č. 11). Návrh těchto dílů je

potřeba provést tak, aby byly zaručeny vhodné vlastnosti při působení bočních rázů a těsnění dveře proti působení vnějších vlivů. Na obrázku č. 11 je vidět, že tyto plechy mají v sobě otvory sloužící pro funkční souvislost s dveřmi. Toto provedení má v sobě několik otvorů. A to jsou otvory pro zavírání zámků dveří a otvory pro šroubové spojení s panty a omezovači dveří. Uvnitř mezi plechy pro dveřní prostory jsou uchycovány třemi konzoly pro montáž dvou pantů dveří a jednoho omezovače dveře pro jednotlivé dveře.



Obr. 11. CAD model vnější části levé bočnice.

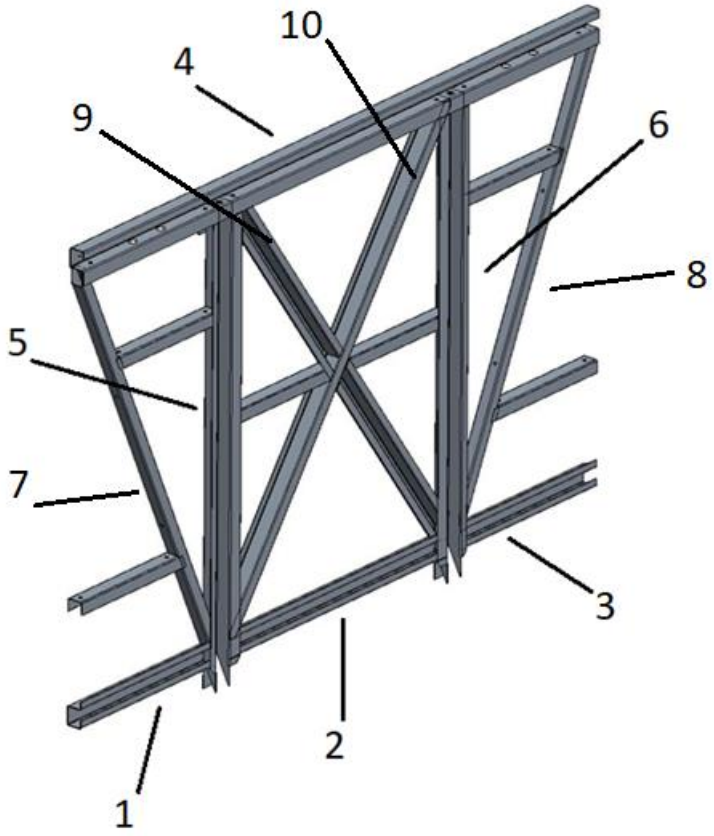
Další krok konstrukce bočnice spočívá v konstrukci plechů definujících tvar pro skla mezi dveřmi pomocí L profilů o tloušťce 1,5 mm (č. 2 podle obrázku č. 11), které jsou svařovány se základními prvky bočnice. Podobné plechy byly přivařeny v prostoru za zadními dveřmi (č. 3 podle obrázku č. 11). Zároveň tyto L profily vytvářejí plochy, které slouží pro nanášení lepidla s vnějšími díly v sestavě lepení. Pro zlepšení pevnostních vlastností bočnice jsou používány U-profily o tloušťce 1,3 mm v prostorech mezi dveřmi a za zadními dveřmi (č. 1 podle obrázku č. 12). Každý z těchto dílů má v sobě vyvrtané dva otvory pro odlehčení. Také jsou umístěny další dva U-profily uvnitř základních plechů bočnice z pevnostních důvodů (č. 2 podle obrázku č. 12).

Obr. 12. CAD model vnitřní části bočnice.

Co se týče pravé bočnice, tak ta je realizována podobně jako u podélníků. Je to podobná konstrukce, která je symetrická k levé bočnici vůči rovině středu vozidla kolem osy přímého pohybu vozidla.

3.2.3. Konstrukce skupiny zadní stěny

Dále konstrukce kabiny pokračuje návrhem zadní stěny, která slouží ke spojování několika skupin svařence včetně obou podélníků, bočnic a rámu střechy. Nosnými prvky zadní stěny v případě dané kabiny jsou čtyři plechové díly o tloušťce 2 mm (č. 1-4 podle obrázku č. 13). Ještě jsou tam dva příčně plechy (č. 5,6 podle obrázku č. 13) spojující dolní a horní část stěny a zároveň jsou navazovány na podélníky. To je náhradní řešení místo tradičního použití obdélníkových profilů pro tyto účely. Pro zajištění tuhosti konstrukce jsou používány úhlopříčně ořezávané obdélníkové profily o rozměrech 40x40x2 mm uložené v prostorech mezi základními prvky stěny (č. 7,8 podle obrázku č. 13), ale uprostřed konstrukce byly zvoleny plechy podobně jako u nosných plechů (č. 9,10 podle obrázku č. 13). Jako další výztuhy byly přidány šest U-profilů o tloušťce 1,3 mm, jejichž polohu je vidět na obrázku č. 13.



Obr. 13. CAD model skupiny zadní stěny.

3.2.4. Konstrukce podsestav podokenního a nadokenního příčníku

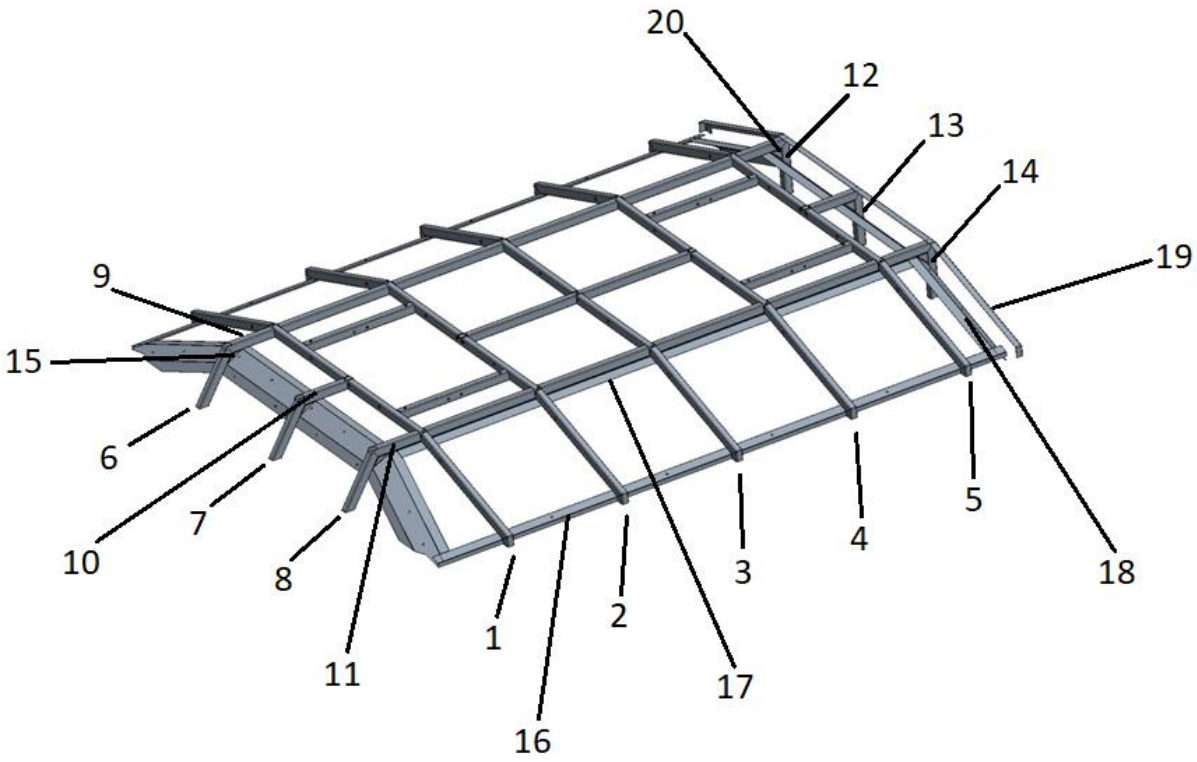
Následně je potřeba zkonstruovat prvky, jež by splňovaly funkci spojení základních skupin svařence vpředu. Podokenní příčník slouží ke propojování obou podélníků, bočnic a krytu motoru za účelem uzavřenosti výsledného výrobku. Skládá se ze tří plechů o tloušťce 2 mm. Nacházející vepředu ohýbaný plech (č. 1 podle obrázku č. 14) má několik otvoru pro montáž stěračů a povrch na horní části slouží k následnému lepení skla. Další dva plechy jsou vytvořeny za účelem zpevnění konstrukce, protože podokenní příčník je jedním z nejvíce zatěžovaných prvků při homologaci.

Obr.14. CAD model podsestav podokenního příčníku nahoře a nadokenního příčníku dole.

Pro spojení obou bočnic a rámu střechy slouží nadokenní příčník. Skládá se ze dvou plechů a pěti výztuh, které jsou vyráběny o stejné tloušťce 2 mm. Jeden z plechů nadokenního příčníku (č. 2 podle obrázku č. 14) je zkonstruován s ohledem na základní design kabiny a zároveň je místem největšího namáhání při homologačních zkouškách podobně jako u podokenního příčníku. Také jeden z jeho povrchů je použitý pro lepení skla při výsledné montáže kabiny. Další plech je navržen tak, aby měl v sobě tzv. zámky pro následné uchycení výztuh a aby bylo umožněno propojení s bočnicemi. Výztuhy mají dvě funkce, kde první je vyztužení namáhaného plechu proti zatížení a druhá je spojení příčníku s jekly na rámu střechy (víz kap. 3.2.5).

3.2.5. Konstrukce podsestavy rámu střechy

Další důležitou skupinou svařence kabiny je rám střechy, jehož tvar je určen hlavně z designu celkové kabiny. Také na něho jsou kladeny další funkční požadavky jako zabezpečení tuhosti hlavně při zkouškách pádu shora (FOPS), zajištění prostoru pro střešní poklop a další. Co se týče konstrukce rámu střechy, tak v sobě zahrnuje několik obdélníkových profilu o rozměrech 40x30x2 mm, na které potom navazují plechy, které slouží jako výztuhy spojující rám střechy jako celek.

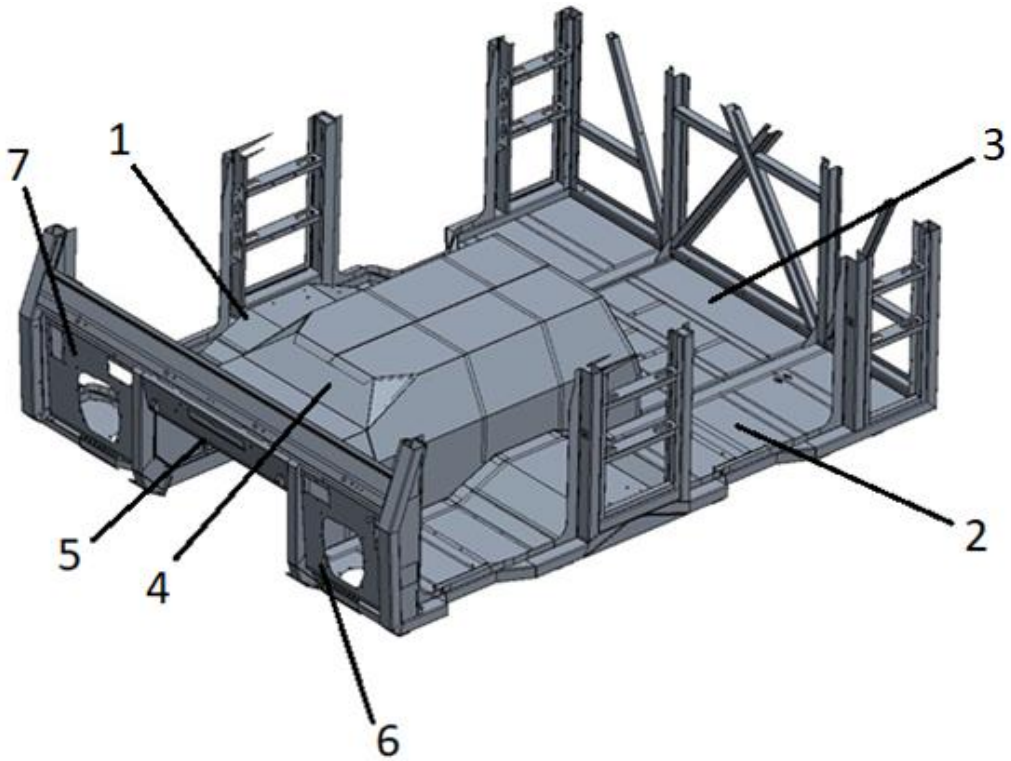


Obr. 15. CAD model podsestavy rámu střechy.

Prvním krokem byly navrhnuty pět ohýbaných jeklů (č. 1-5 podle obrázku č. 15), které jsou umístěny příčně o rozteči 530 mm a propojují obě bočnice. Následně byla nadefinována poloha podélných jeklů, které vepředu jsou svařovány s výztuhami nadokenního příčníku (č. 6-8 podle obrázku č. 14). Na tyto profily jsou navazovány další profily (č. 9-11 podle obrázku č. 15), které jsou spolu zámkovány s příčným jeklem (č. 1 podle obrázku č. 15). To znamená, že mají výřezy pro vzájemné uchycování v prostoru, tzv. přesně nadefinována poloha před svařováním. Uprostřed kabiny dochází ke změnám poloh některých profilů z důvodu zajištění prostoru pro poklop střechy. Na konci kabiny podélné profily se svařují na skupinu zadní stěny (č. 12-14 podle obrázku č. 15). Pro zvýšení tuhosti rámu bylo přidáno několik plechů o tloušťce 1 mm, které slouží pro vyztužení polohy profilů proti působení vnějších sil (č. 15-20 podle obrázku č. 15).

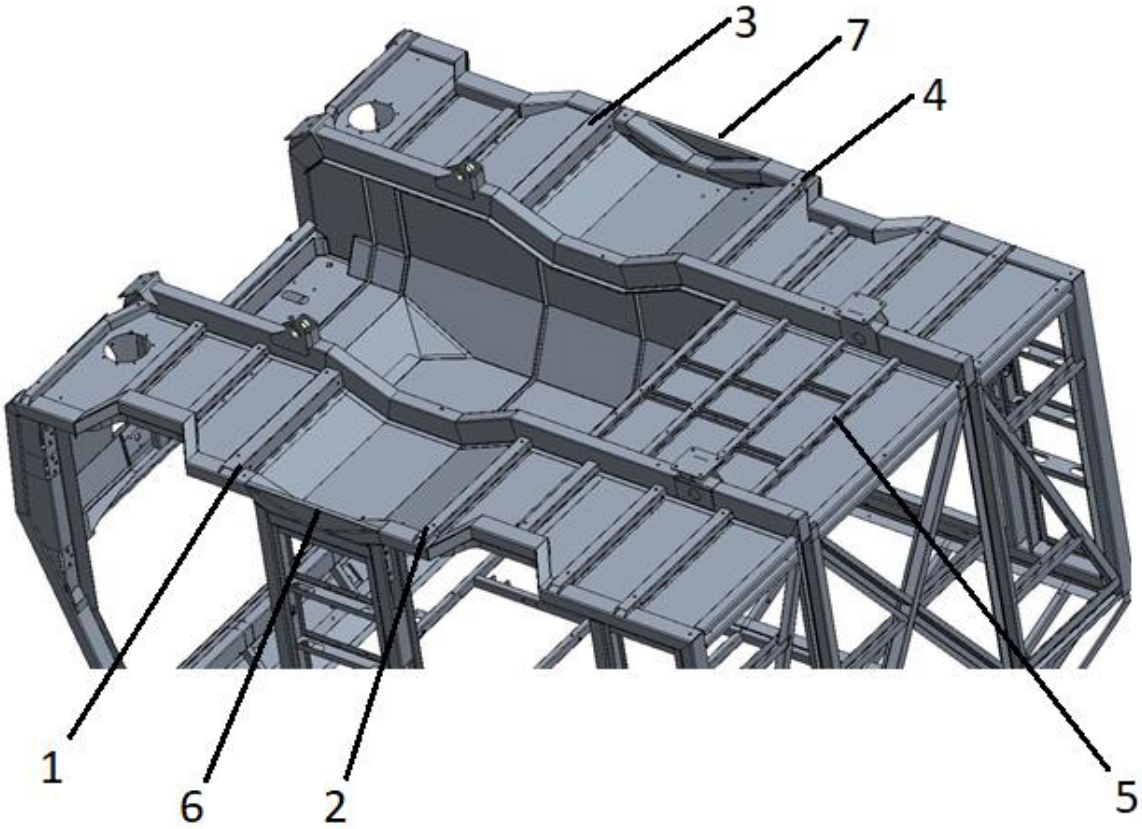
3.2.6. Konstrukce skupin podlahy, krytu motoru a jejich výztuh

Poslední fáze konstrukce svařence kabiny v sobě zahrnuje úkol dosáhnout uzavřené konstrukce pomocí plechů, které plní funkci podlahy, krytu motoru, plechů pro kabeláž, skupinu pedálu a klimatizaci. Nejprve jsou navrhovány tři ohýbané plechy podlahy o tloušťce 1,5 mm uzavírající prostor mezi podélníky a bočnicemi a jeden plech pro propojení dvou podélníků v zadní části svařence (č. 1-3 podle obrázku č. 16). Přičemž na plechách (č. 1,2 podle obrázku č. 16) se umisťují otvory sloužící pro následnou montáž tyče směrového řízení s volantem na straně řidiče a krytu podlahy na jiné straně, aby byla umožněna univerzální výroba kabiny pro různé země. Postupně se navazuje několik plechů propojující podélníky ve přední části svařence a plní funkcí krytu motoru (č. 4 podle obrázku č. 16). Dále byl navrhnut plech v přední části kabiny (č. 5 podle obrázku č. 16), který uzavírá prostor mezi podélníky, podokenním příčníkem a krytem motoru. Zároveň na sobě má přivařené malé konzoly pro montáž víka kapoty a má několik otvorů pro propojení s klimatizačním systémem vozidla.



Obr. 16. Řez CAD modelu sestavy svařence kabiny.

Další krokem je konstrukce dvou plechů (č. 6,7 podle obrázku č. 16), které se svařují s jednotlivým podélníkem, bočnicí na každé straně a podokenním příčníkem. Přičemž plech na straně řidiče má jeden otvor pro montáž skupiny pedálů a otvory pro kabeláž a na jiné straně ten otvor slouží pro umístění elektrocentrály kabiny.

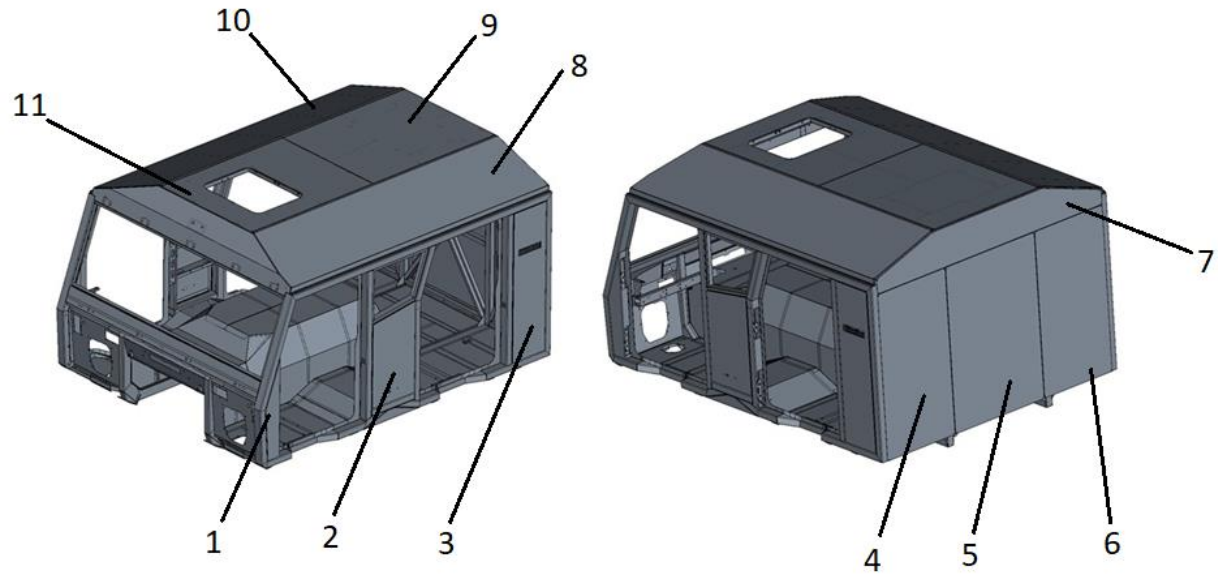


Obr. 17. Pohled zespodu na 3D CAD modelu svařence kabiny.

Pro zlepšení pevnostních vlastností svařence byly použity výztuhy, které představují ohýbané plechy o tloušťce 2 mm a slouží hlavně ke zmenšení průhybových deformací v podlaze. Zpravidla jsou umístěny mezi podélníkem a bočnicí na každé straně, přičemž čtyři výztuhy slouží k zachycení vůle mezí jednotlivými plechy podlahy (č. 1-4 podle obrázku č. 17). Podobným způsobem se navrhují výztuhy mezi pravým a levým podélníkem v zadní části svařence (č. 5 podle obrázku č. 17), kde je potřeba dávat pozor na větší vnější zatížení z důvodu tíhy od posádky dosahující šesti až osmi osob. Na závěr se přivařuje výztuha na obou bočnících pro vyztužení obdélníkových profilů v prostoru mezí předními a zadními dveřmi (č. 6,7 podle obrázku č. 17).

3.3. Konstrukce sestavy lepení kabiny

Sestava lepení představuje nejvyšší úroveň sestavy kabiny, která následně navazuje na rám nákladního vozidla. Skládá se z hliníkových plechů o tloušťce 1,5 mm, které se lepí na svařenec. Tyto díly byly navrhnuty tak, aby navazovali na původní konstrukci sestavy svařence kabiny, přičemž v CAD datech jsou dany s vůli o velikosti 3 mm vůči povrchů dílů svařence, na které jsou krycí plechy lepeny. Tuto vůli po obvodu krycích plechu ze vnitřní strany zpravidla vyplňuje reaktivní polyuretanové lepidlo. Ale předtím je potřeba provést odmaštění ploch svařence, ne které budou lepené krycí plechy pomocí acetonu nebo jiných příslušných roztoků.



Obr. 18. Axonometrické pohledy kompletní sestavy po lepení kabiny.

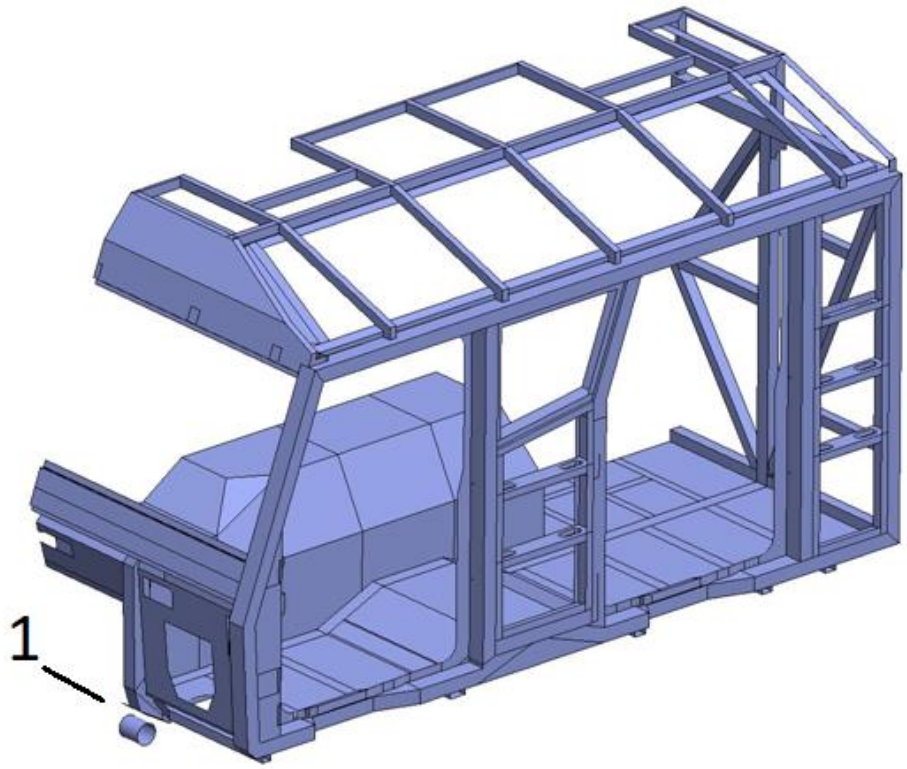
Na obrázku č. 18 je vidět poloha jednotlivých krycích plechů. Tři plechy jsou umístěny na bočnici na každé straně v prostorech mezi dveřmi, za zadními dveřmi a před předními dveřmi (č. 1-3 podle obrázku č. 18). Dále jsou plechy na zadní stěně, které překrývají prostory mezi bočnicemi, nosnými plechy a mezi zadní stěnou i rámem střechy (č. 4-7 podle obrázku č. 18). Na střeše se nacházejí další čtyři plechy, které navazují na tvar plechu nadokenního příčníku a jednotlivých jeklů rámu střechy (č. 8-10 podle obrázku č. 18). Přičemž na jednom z plechů je vidět otvor pro poklop, který bude montován při další výrobě (č. 11 podle obrázku č. 18).

4. Pevnostní zkoušení kabiny nákladního vozidla

Důležitým krokem pro výrobu kabiny nákladního vozidla je ověření její přípustnosti k silničnímu provozu. Obvykle pro tyto účely se provádějí různé homologační zkoušky, které zjišťují různé vlastnosti výrobků jako pevnostní, funkční, estetické atd. Tato kapitola hlavně zabývá simulací homologačních zkoušek ověřujících pevnostní a deformační spolehlivost kabiny pro bezpečnost její posádky. Jedná se o zkoušky ROPS v provedení bočního zatěžování a FOPS úroveň I zadaných dle používaných norem. [6,7] Zde bude popsán postup vytvoření sítě pro MKP od vytvoření výpočtového modelu v softwaru Creo až po nastavení exportu do výpočtového prostředí MSC Marc/Mentat. Dále budou postupně popsány definování výpočtových úloh včetně okrajových podmínek, vazeb, zatížení a další. V závěru jednotlivých výpočtů budou zobrazeny jejich výsledky, ze kterých bude hodnocená přípustnost kabiny pro silniční provoz.

4.1. Výpočtový model kabiny nákladního vozidla

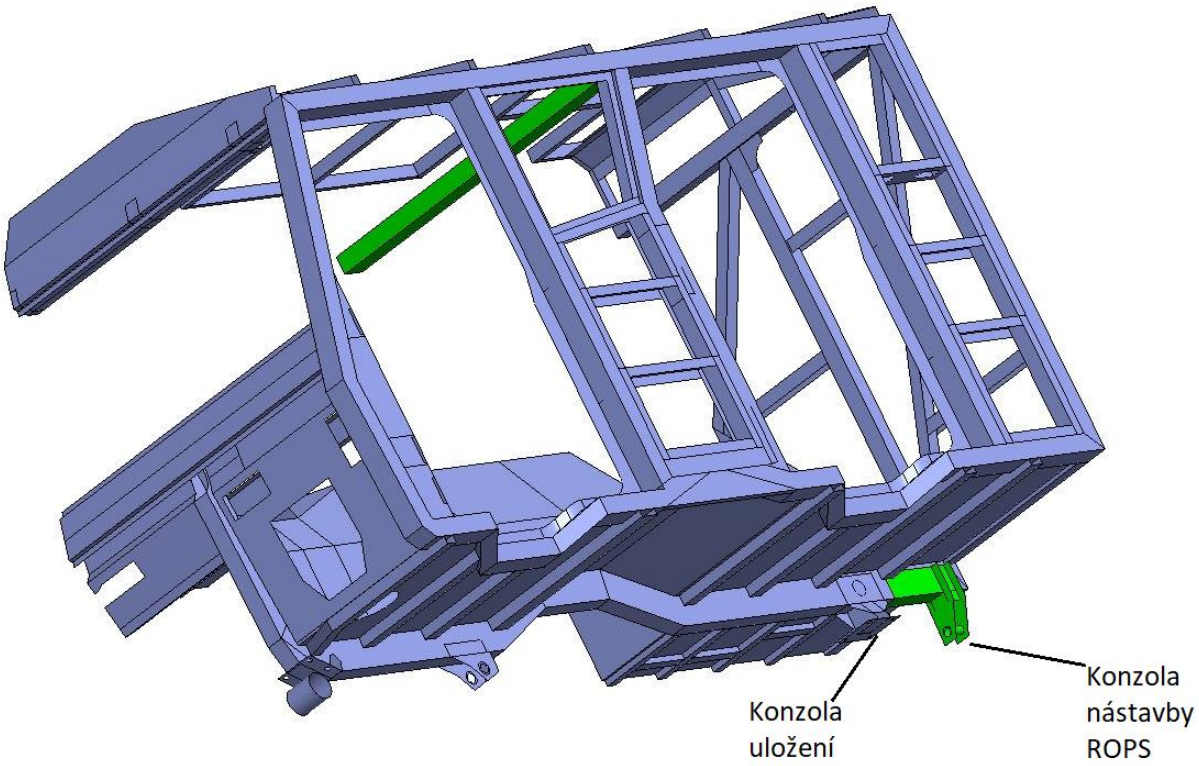
Prvním krokem je potřeba vytvořit skořepinový model vycházející z konstrukce svařence kabiny a dalších nástaveb potřebných pro zkoušení. Hlavní účel tohoto kroku spočívá v úpravě geometrie, která bude tvořena pomocí 2D elementů (tzv. shellů) ve 3D prostoru pro snížení výpočtového času během simulací. Obvykle se to dělá pomocí tzv. „střednicové reprezentace“. To znamená, že tvar jednotlivých součástí sestavy bude nahrazen skořepinou procházející středem tloušťky materiálů a tím se dosáhne redukce v prostoru 3D (solid) na 2D (shell) elementy.



Obr. 19. Poloviční skořepinový model svařence kabiny.

Podle obrázku č. 19 je vidět, že v této fázi stačí poloviční model, který bude zrcadlen v následujících krocích výpočtů podle potřeby. Také pro snížení výpočtového času dochází k úpravě geometrie původního CAD modelu směrem k jeho zjednodušení. Toho se dá docílit odstraněním veškerých zaoblení u jeklových profilů a plechů. V místech navazování několika ploch na sebe se to opravuje na jednu plochu, která při dalším síťování bude mít souhrnnou tloušťku všech navazovaných plechů. Příkladem takové úpravy je snížení počtu ploch podokenního příčníku. Další možností zjednodušení výpočtového modelu je odstranění otvorů, které nemají skoro žádný vliv na pevnostní vlastnosti kabiny. Příkladem jsou otvory pro KTL o průměru 10 mm nacházející uprostřed dolních hran jeklových profilů po celém svařenci kabiny.

Pro uchycení kabiny se zkoušecím rámem byla přidána tzv. “Konzola nástavby ROPS“, která se skládá z několika plechů o tloušťce 6 mm a čepu o průměru 30 mm. Montuje se na podélníky v místě mezi konzolou uložení a místem spojení podélníků se zadní stěnou (víz. obrázek č. 20).



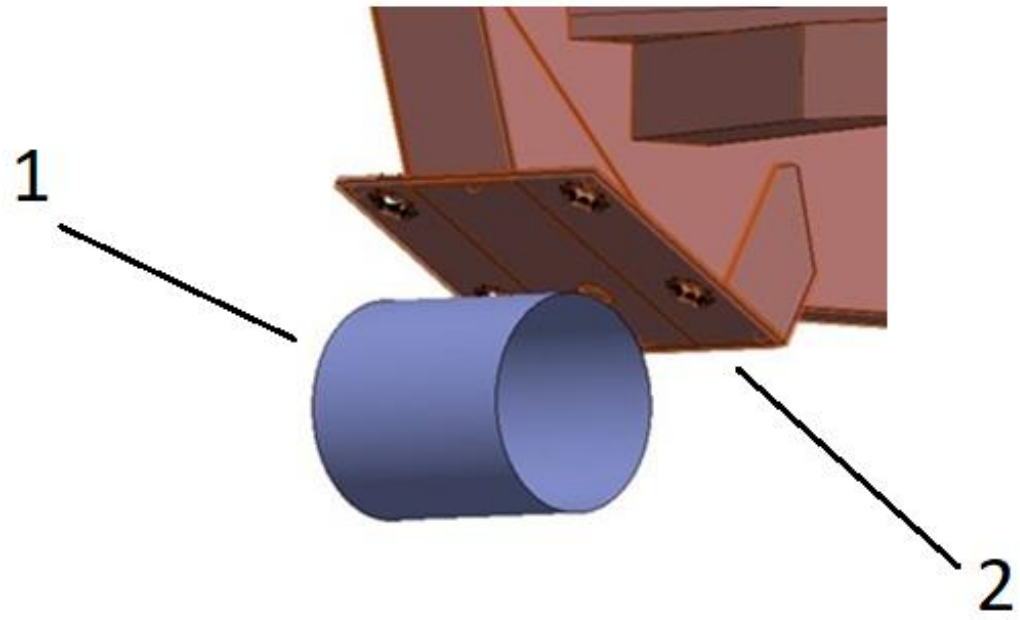
Obr. 20. Konzola nástavby ROPS.

Podle nastavení vytvoření sítě výpočtová úloha je považována jako kontaktní, když dvě plochy na sebe navazují geometricky a jsou ve styku. Zpravidla to jsou styky mezi hranou a plochou nebo dvěma hranami. V softwaru Creo se to zadává v nastaveních sítě pomocí příkazu „Merge Coincidence“, který sjednotí styčné plochy a tím vlastně nadefinuje kontakt. Co se týče dalších nastavení sítě pro výpočet MKP, tak zde bude zadáno několik parametrů. Pro snížení výpočtového času nesmí celkový počet elementů sítě plošného modelu být větší než 100 000. Pro dané výpočty bylo zvoleno použití pouze čtvercových a trojúhelníkových elementů. Dále byl zadán maximální rozměr elementů o hodnotě 20 mm a minimální rozměr elementů o hodnotě 2 mm. Pro správnost výpočtu v místech, kde jsou kruhové oblouky, byla potřeba je rozdělit na 10 nebo 20 prvků v závislosti na velikosti křivky, aby bylo možné eliminovat špičkové hodnoty napětí. Následně byly zadány tloušťky jednotlivých ploch podle CAD modelu v souladu s opravami plošného modelu a byly nadefinovány jejich materiálové vlastnosti.

Materiál	S355J2H	S355J2C+N
Použití	Obdélníkové profily	Plechy do tloušťky 6 mm
Poissonovo číslo μ [-]	0,3	0,3
Youngův modul pružnost E [MPa]	206 000	206 000
Hustota materiálu ρ [kg/m^3]	7850	7850
Mez kluzu v tahu R_e [MPa]	355	355
Mez pevnosti v tahu R_m [MPa]	620	620
Tažnost A [%]	22	22

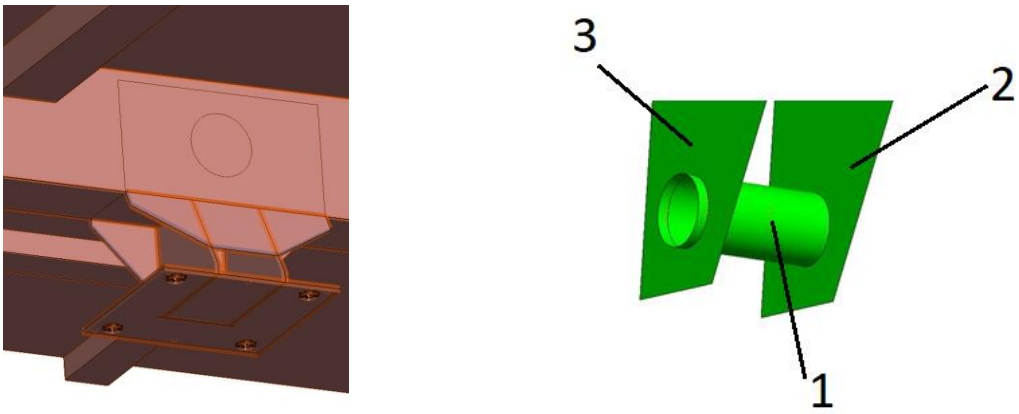
Tab. 1. Přehled materiálů a jejich vlastností.

Posledním krokem přípravy sítě je definovaní prostorových kontaktů uskutečněných bez přímého geometrického styku pomocí tzv. „Rigid Body“. Prvním příkladem takového kontaktu (č. 1 podle obrázku č. 19) je uložení předního plechu podélníku se referenčním modelem silentbloku (č. 1 podle obrázku č. 21) v prostoru pomocí dvou definovaných bodů v prostoru (víz obrázek č. 25) a plochou plechu s otvory pro šroubové spoje M16 (č. 2 podle obrázku č. 21).



Obr. 21. Prostorový kontakt předního plechu podélníku se silentblokem.

Dále byl nadefinován prostorový kontakt tzv. “konzoly uložení“ (víz obrázek č. 20) v místě plochy dolního plechu s otvory pro šroubové spojení M12.



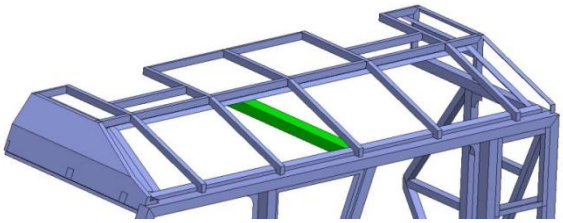
Obr. 22. Prostorový kontakt pro konzolu uložení vlevo a prostorový kontakt pro konzolu nástavby ROPS vpravo.

Podobně prostorovému kontaktu plechu podélníku se silentblokem byl zadán i pro prostřední bod čepu (č. 1 podle obrázku č. 22) tzv. “konzoly nástavby ROPS“ se dvěma plochy plechů této konzoly (č. 2,3 podle obrázku č. 22). Veškeré prostorové kontakty nadefinované v této fázi budou následně spojovány se zkoušecími rámy podle potřeby (víz kap. 4.2.).

4.2. Definování úlohy pro MKP výpočet zkoušky ROPS

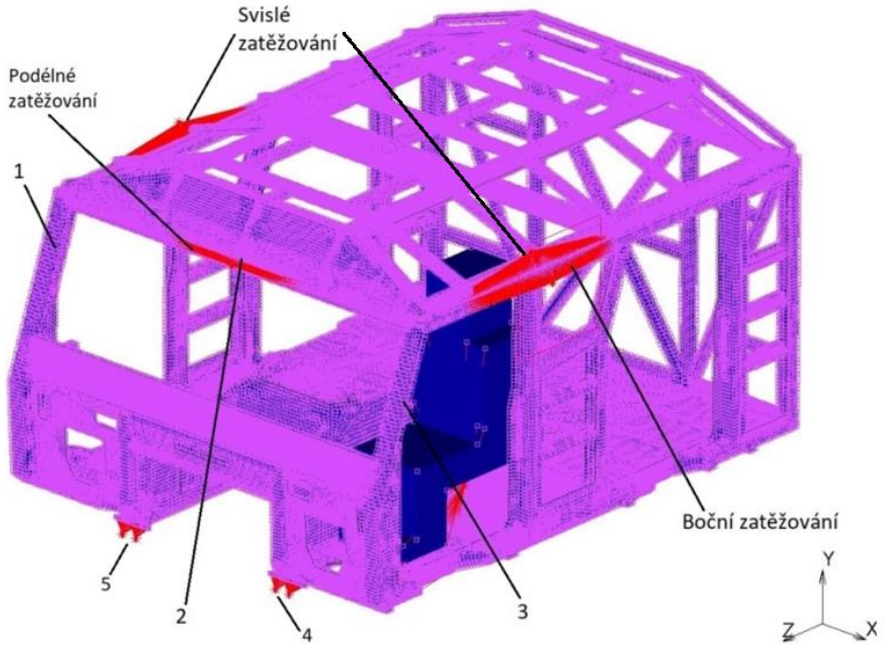
Zkouška ROPS slouží ke zjištění pasivní bezpečnosti posádky v případě převracení nákladního vozidla v důsledku nehody. Podle ČSN EN ISO 3471 existuje několik provedení této zkoušky. [6] Varianta s tzv. „Podélným zatěžováním“ spočívá v nárazu zkoušecího tělesa ve směru X, kde největší zatížení jsou v předních dílech kabiny jako obdélníkový profil bočnic nebo nadokenní příčník (č. 1-3 podle obrázku č. 24). Další možnosti zkoušek ROPS je tzv. „Svislé zatěžování“, kde zatížení je zadáno shora na definované místo střechy mimo střed s cílem zjistit chování kabiny v důsledku působení ohybového a kroutícího momentu kolem středu vozidla. V rámci této diplomové práce se bude provádět třetí možnost zkoušek ROPS. To je varianta s tzv. „Bočním zatěžováním“, která je obvykle považovaná za nejvíce kritickou možnost z důvodu největších zatížení. [6] (víz obrázek č. 24)

Na základě předchozích zkušenosti bylo rozhodnuto do původní sítě přidat ochranný rám pro zkoušku ROPS s cílem zajistit větší tuhost pro lepší splnění zkoušky ROPS. Jedná se obdélníkový profil o rozměrech 80x60x3 mm, který je v kontaktu s obdélníkovým profilem bočnice a uložen v krátké vzdálenosti od předního sloupku pro zadní dveře. Na obrázku č.23 je zobrazen zeleně.



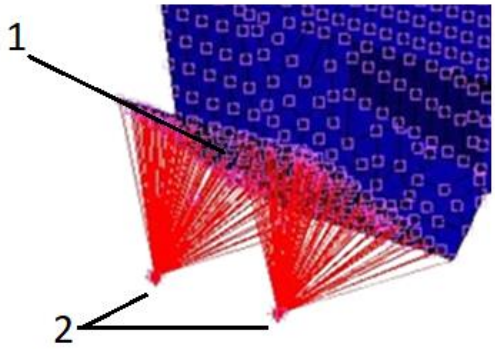
Obr. 23. Ochranný rám pro zkoušku ROPS.

Následně byla síť importována do výpočtového softwaru MSC Marc/Mentat, v němž budou definovány podmínky potřebné pro provedení simulace včetně možností uložení, zavazbení, zatížení atd. Po importu do prostředí MSC Marc/Mentat, kabina byla odzrcadlena z důvodu její symetrie. Z předpisu EHK č.29 vyplývá, že na místě řidiče musí byl vložen model člověka s cílem zjistit, jestli deformace v důsledcích působících zatížení ohrožují jeho bezpečnost. Model člověka obsahuje několik uzlů nacházejících se hlavně v kloubech, končetinách a v místech jejích průsečíků pro možnost uložení pomocí prostorového kontaktu s plechem podlahy.



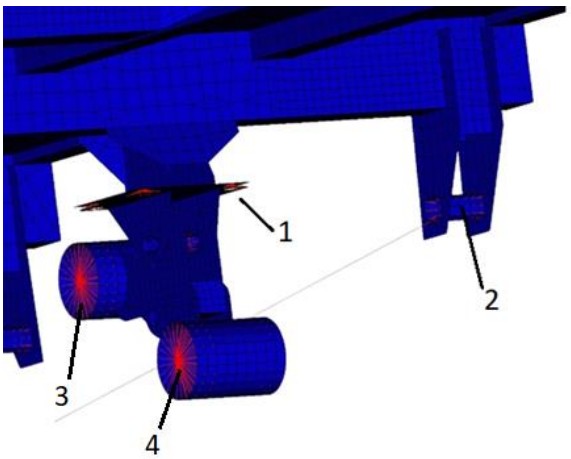
Obr. 24. Výpočtový model pro simulaci zkoušky ROPS.

Následujícím krokem je určení vazeb, pomocí nichž kabina byla uložena v prostoru. Na obrázku č. 25 je ukázána prostorová vazba (č. 4,5 podle obrázku č. 24) mezi předním plechem podélníků (č. 1 podle obrázku č. 25) a silentblokem vepředu zkoušecího rámu, který je realizován pomocí dvou bodu (č. 2 podle obrázku č. 25). Princip dané vazby spočívá ve spojení mezi uzly plechu a silentbloku upevněného pomocí vazby Fix . Charakteristiky silentbloku jsou ukázány v příloze č. 1.



Obr. 25. Prostorová vazba plechu se silentblokem.

Následně byly nadefinovány vazby pro konzoly uložení a nástavby ROPS. Konzola uložení byla prostorově provázána se zkoušecím rámem v místech šroubových spojů (č. 1 podle obrázku č. 26). Tato část zkoušecího rámu se skládá z několika plechů a dvou čepů pro uložení s upevněnými silentbloky (č. 3,4 podle obrázku č. 26), které jsou zadány podobně jako u předchozí vazby (víz. obrázek č. 25) na základě stejných charakteristik. Uložení konzoly pro nástavbu ROPS je uskutečněná pomocí kontaktu prostředního bodu čepu s upevněným bodem reprezentujícím zkoušecí rám (č. 2 podle obrázku č. 26). Všechny prostorové vazby jsou definované symetricky.



Obr. 26. Vazby pro konzolu uložení a konzolu nástavby ROPS. (víz obr. č. 20)

Posledním bodem určení výpočtové úlohy pro výpočet ROPS je nadefinování zatížení boční sílou. Je to provedené tak, že síla působí na nosný obdélníkový profil levé bočnice. Podle ČSN EN ISO 3471 tuto sílu je povoleno rozložit až na 80 procent délky kabiny. Zatěžující síla byla rozložena po délce 1070 mm symetricky k poloze středu hlavy řidiče (víz. Boční zatěžování podle obr. 24). Hodnoty velikosti sily byly určeny podle deformací tak, aby kabina se zdeformovala o 250 mm z cílem zjistit schopnost kabiny absorbovat zatížení a deformační energii (víz. kap. 4.3.). To znamená, že výpočtový systém bude určovat potřebnou sílu a deformační energii v každé hodnotě deformace v intervalu od 0 do 250 mm s definovaným krokem na 1 mm. Na základě vstupních podmínek pro výpočet lze danou úlohu považovat za kvazistatickou.

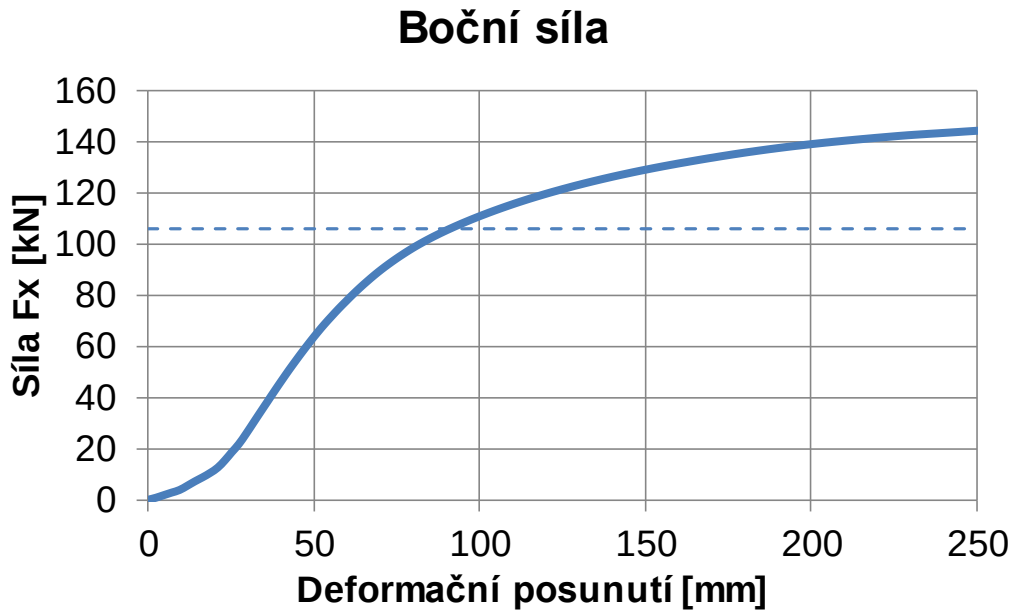
4.3. Hodnocení výsledků MKP výpočtu zkoušky ROPS

V souladu s normou ČSN EN ISO 3471 splnění zkoušky ROPS spočívá ve schopnosti přenášet minimální hodnoty působící síly a deformační energie. Norma to tak stanovuje proto, aby kabina byla schopná převádět kinetickou energii nárazu na deformační, kterou potom kabina musí být schopná pohlcovat na teplo, aniž byla ohrožena posádka.

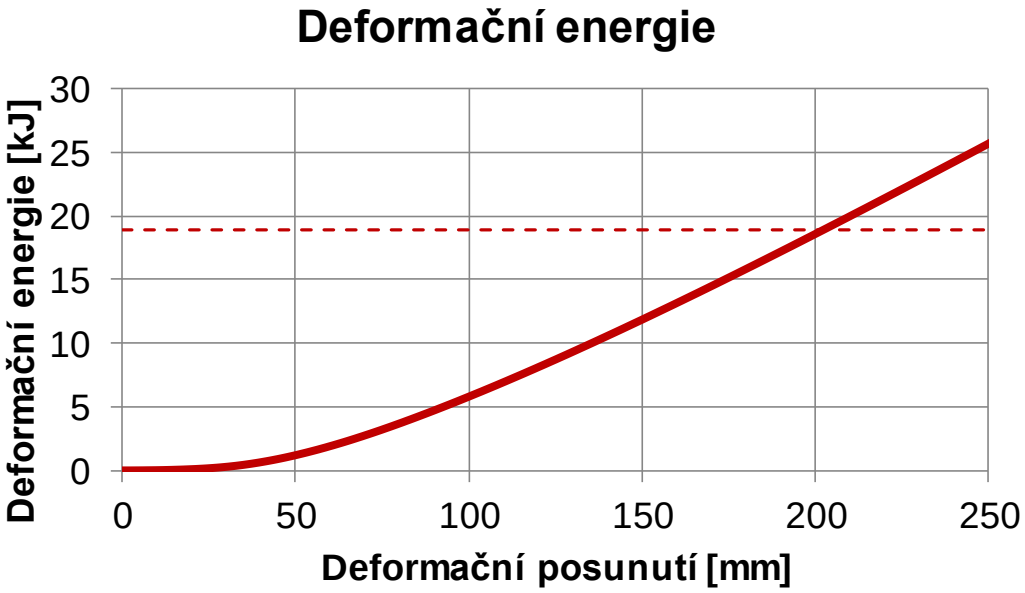
Hodnoty boční síly a deformační energie se dají vypočítat podle vzorců udávaných v normě ČSN EN ISO 3471. Výsledky splnění daného kritéria je vidět na obrázcích číslo č. 27 a č. 28, kde je znázorněno, že během zkoušky kabina přenáší potřebné hodnoty zatížení. Hodnoty boční síly a deformační energie v závislosti na deformačním posunutí byly obdrženy z výpočtu provedeného v prostředí MSC Marc/Mentat (víz. obrázek č. 27, 28). Minimální hodnoty zatěžující síly a deformační energie byly vypočteny ve vzorcích (1), (2) podle normy. [6]

$$F = 85000 \cdot \left(\frac{m}{10000}\right)^{1,2} = 85000 \cdot \left(\frac{12000}{10000}\right)^{1,2} = 105\,788\,N \quad (1)$$

$$U = 15000 \cdot \left(\frac{m}{10000}\right)^{1,25} = 15000 \cdot \left(\frac{12000}{10000}\right)^{1,25} = 18\,839\,J \quad (2)$$



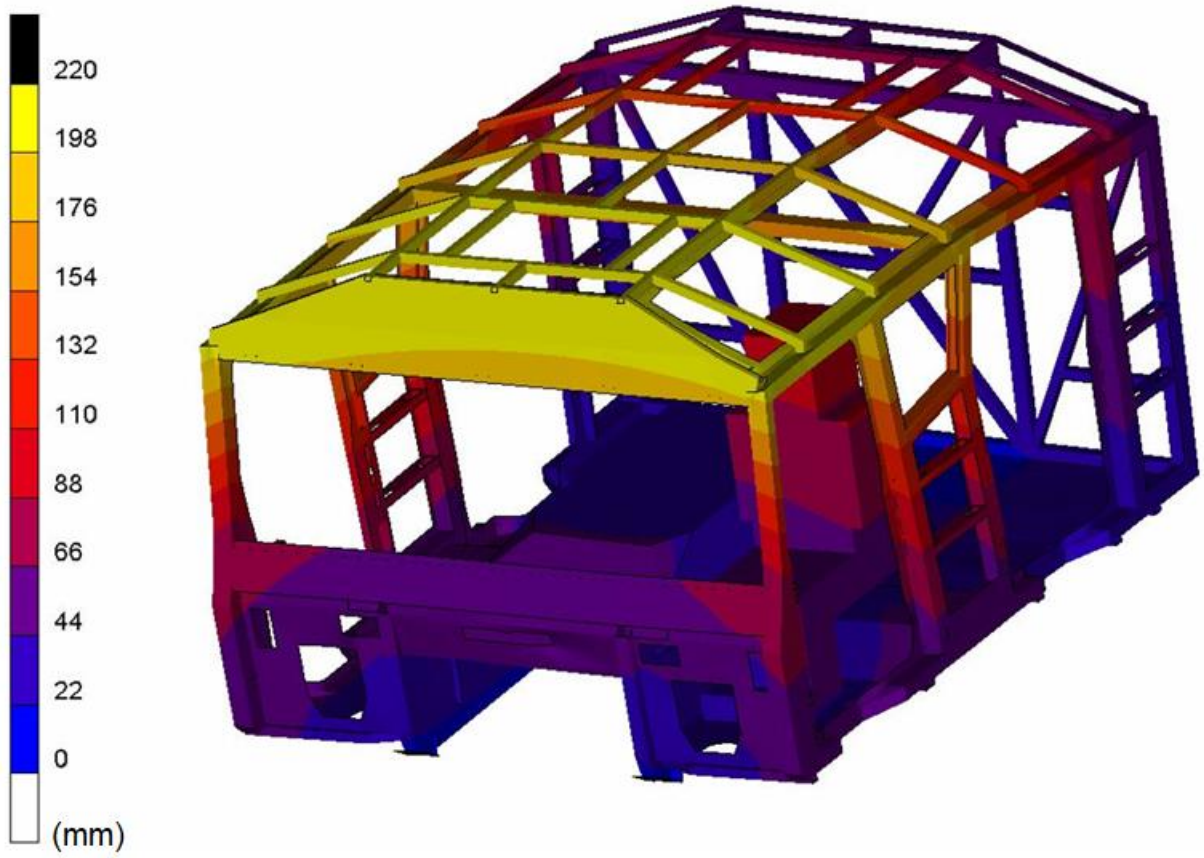
Obr. 27. Graf boční síly v závislosti na deformačním posunutí.



Obr. 28. Graf deformační energie v závislosti na deformačním posunutí.

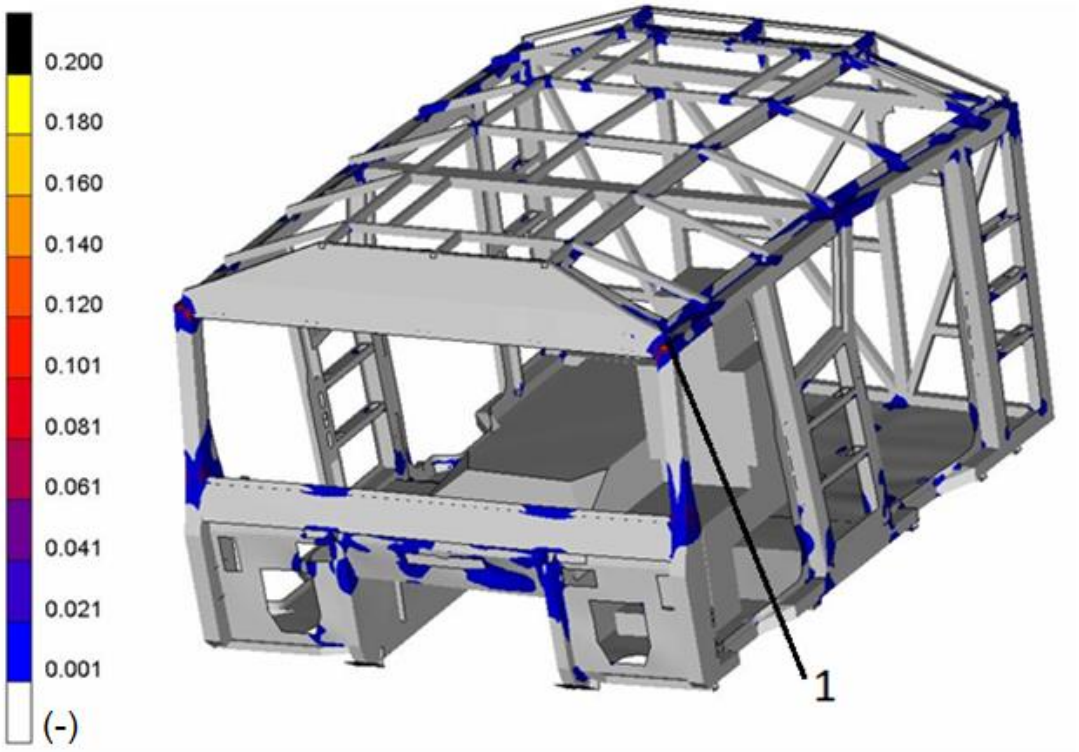
Z obrázku č. 27 vyplývá, že kabina je schopná absorbovat minimální předepsanou hodnotu boční síly při deformaci kolem 80 mm. Z obrázku č. 28 vychází, že kabina je schopná pohlcovat minimální potřebnou velikost deformační energie při deformacích nad 200 mm. To znamená, že kabina splnila tyto dvě kritéria.

Splnění dalšího kritéria na deformace kabiny a na pasivní bezpečnost posádky je zobrazeno na obr.29. Na něm je vidět, že největší deformace je v přední části kabiny v místech působení síly, kde zatížení následně deformuje přední obdélníkové profily rámu střechy a nadokenní příčník. Také značné deformace jsou způsobené v místě spojení horního obdélníkového profilu se sloupky bočnice pro dveře. Z hlediska pasivní bezpečnosti na stejném obrázku je zobrazena kabina v důsledku bočního nárazu, která se nedotýká řidiče a tím lze přijít k závěru, že kabina tento požadavek splňuje.



Obr. 29. Výsledné deformační posunutí (mm) kabiny po zkoušce ROPS.

Poslední kritérium hodnocení zkoušky ROPS spočívá ve splnění požadavku na plastické přetvoření kabiny, již v žádném místě kabiny nesmí překročit hodnot mezní tažnosti, aniž by došlo k porušení materiálu. Na obrázku č. 30 je vidět, že riziková místa zpravidla se nacházejí v místech svarů mezi jednotlivými díly. Pro tuto kabiny největší riziko představuje svarový spoj mezí profily bočnic a plechy nadokenního příčníku, kde jsou největší hodnoty přetvoření kolem 18 % (č. 1 podle obrázku č. 30). V příloze č. 2 jsou znázorněny detaily výsledků poměrného přetvoření a výsledné deformace v tomto místě.



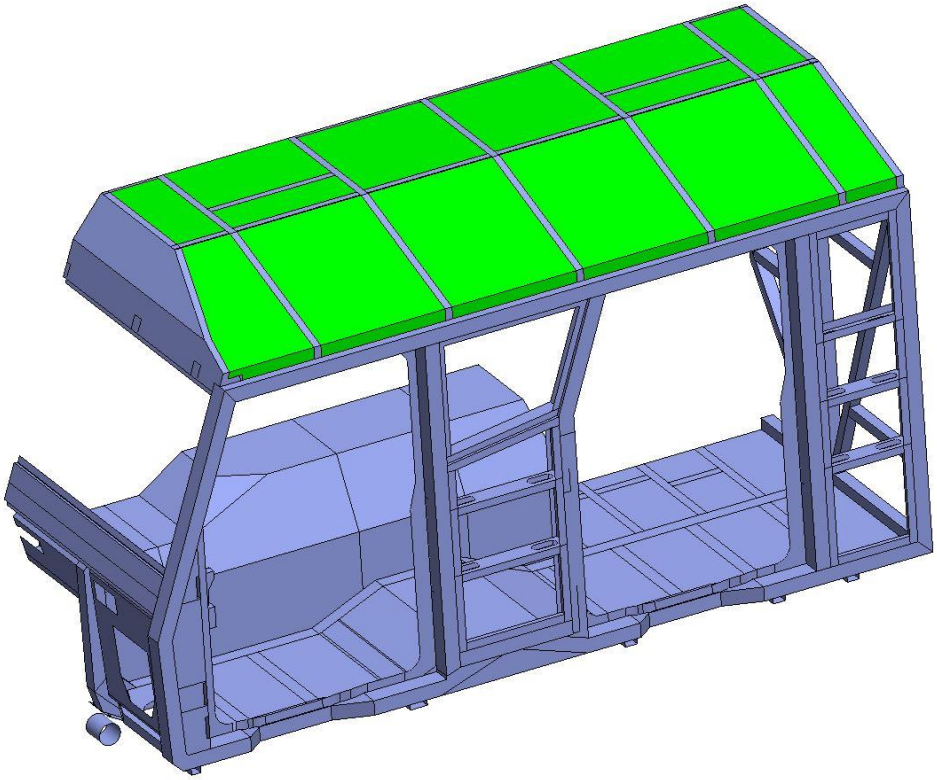
Obr. 30. Výsledné poměrné přetvoření kabiny (-) po zkoušce ROPS.

Podle provedeného hodnocení lze přijít k závěru, že kabina vyhovuje požadavkům zkoušky ROPS a je přípustná k silničnímu provozu. V přílohách č. 3, 4 jsou zobrazeny výsledné deformační posunutí při zkoušce ROPS pro svislé a podélné zatížení s cílem prokázat, že kabina je schopná vyhovovat všem těmto požadavkům. [6]

4.4. Definování úlohy pro MKP výpočet zkoušky FOPS

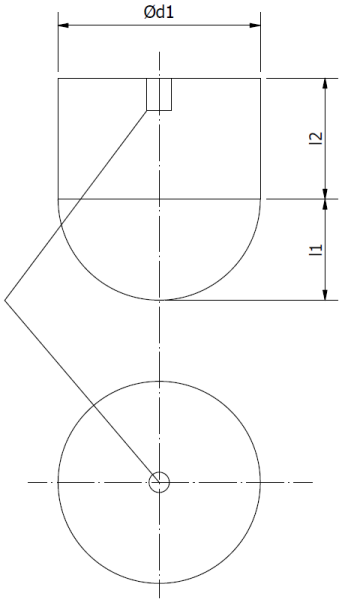
Zkouška FOPS slouží ke zjištění bezpečnosti střechy zkoušené kabiny. Podle normy ČSN EN ISO 3449 je rozdělená na několik úrovní v závislosti na požadované minimální hodnotě deformační energie a tvaru zkoušecího tělesa. Pro tuto kabinu se provádí zkouška FOPS úroveň I, která zjišťuje stav střechy kabiny po nárazu kulatého zkušebního tělesa padajícího z určité výšky. [7]

Prvním krokem zadání simulace dané zkoušky byla potřeba přidat do výpočtového modelu kabiny plechy, které uzavírají prostor mezi obdélníkové profily rámu a zároveň plní funkcí střechy. Jsou to plechy o tloušťce 2 mm a materiálu dle tabulky č. 1 uzavírající prostor rámu střechy. Na obrázku č. 31 jsou tyto plochy zobrazeny zeleně. Síť pro výpočet FOPS byla vytvořena obdobným způsobem jako u zkoušky ROPS.



Obr. 31. Výpočtový model pro zkoušku FOPS úroveň I.

Pro zkoušku FOPS úroveň I platí, že střecha musí přenést minimální hodnotu deformační energie vzniklou z potenciální energie nárazu. Podle normy ČSN EN ISO 3449 pro splnění dané zkoušky je potřeba přenést deformační energii o hodnotě 1360 J. [7]

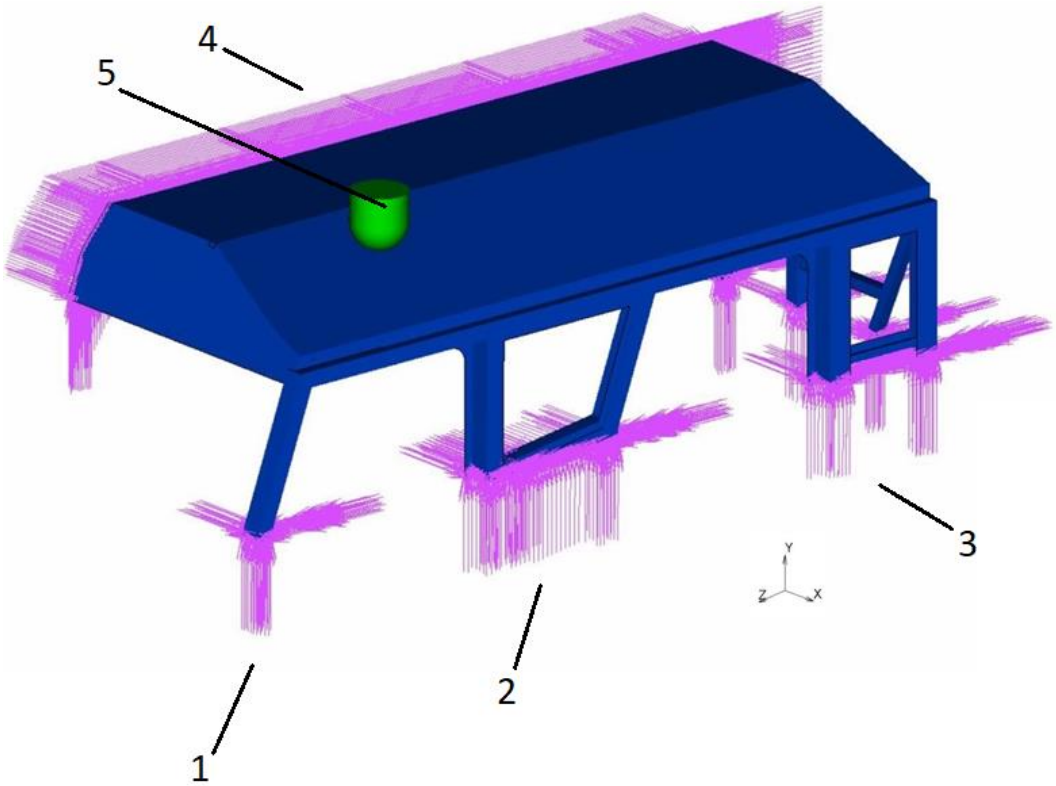


Obr. 32. Náčrt potřebného tvaru zkoušecího tělesa pro FOPS úroveň I. [7]

Dalším krokem zadání MKP výpočtu pro danou zkoušku je návrh tvaru zkoušecího tělesa a výpočet výšky pádu. Byly zvoleny hodnoty průměru kulovité části o velikosti 100 mm a délky válcovité části tělesa o velikosti 115 mm. Na základě těchto hodnot vyšlo ocelové těleso o hmotnosti 44,8 kg padající z výšky 3,1 m. Hodnota deformační energie se dá vypočítat podle vzorců udávaných v normě ČSN EN ISO 3449. Zpravidla výsledkem jsou hodnoty neznačně větší než předepsaná (víz vzorec (3)). [7]

$$U = m_t \cdot g \cdot h = 44{,}8 \cdot 9{,}807 \cdot 3{,}1 \approx 1362 \text{ J} \quad (3)$$

Následně do výpočtového prostředí MSC Marc/Mentat byla importována síť plošného modelu, kde byly nadefinovány okrajové podmínky a zatížení pro provedené zkoušky FOPS. Podle obrázku č. 33 z původní sítě byla odstraněná část prvků, protože pro tuto zkoušku stačí mít reprezentaci střechy a prvků modelu, na nichž střecha navazuje. V místě oříznutí byl model zavazben pomocí nulového pohybu v osách x, y, z (č. 1-3 podle obrázku č. 33). Také pro tuto zkoušku není potřeba mít symetricky zrcadlený model, proto u prvků reprezentujících střed vodidla byl zavazben pohyb v ose x a rotace kolem osy z, která je osou přímého pohybu vozidla (č. 4 podle obrázku č. 33).

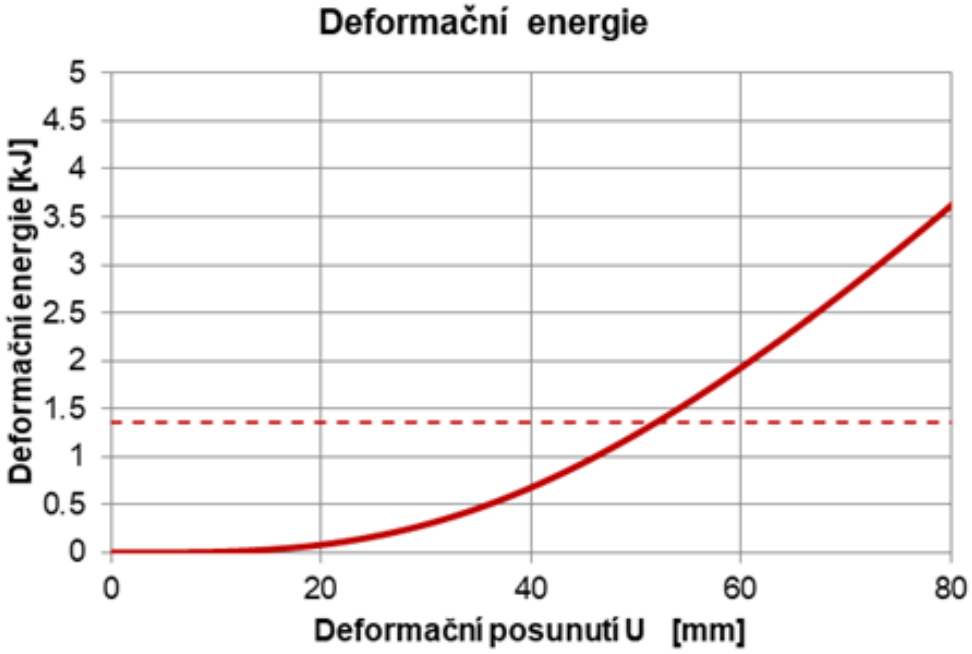


Obr. 33. Výpočtový model pro simulaci zkoušky FOPS.

Poslední krok spočívá v nadefinování zatížení střechy kabiny. Zkoušecí těleso (č. 5 podle obrázku č. 33) je umístěno tak, aby padalo nad hlavou řidiče podle předem určitých parametrů. To znamená, že těleso je pohybováno jako píst s definovaným svislým pohybem v ose y (víz obrázky č. 32,33). Kontakt mezi kabinou a zkoušecím tělesem je zajištěn pomocí prostorové vazby řídící pohyb tělesa podle hmotnosti a výšky pádu a je hledán v každém kroku. V okamžiku, kdy uzly kabiny a zkoušecího tělesa začnou protínat, software MSC Marc/Mentat začne uvažovat kontaktní deformační sílu za nenulovou a bude počítat její hodnotu podle deformačního posunutí kabiny v rozmezí od 0 do 80 mm s krokem 1 mm. To znamená, že tato úloha je kvazistatická podobně předchozímu MKP výpočtu pro zkoušku ROPS. Hodnota 80 mm byla zvolena s cílem zjistit hodnotu deformace, při které kabina by byla schopná pohlcovat stanovenou minimální hodnotu deformační energie. [7]

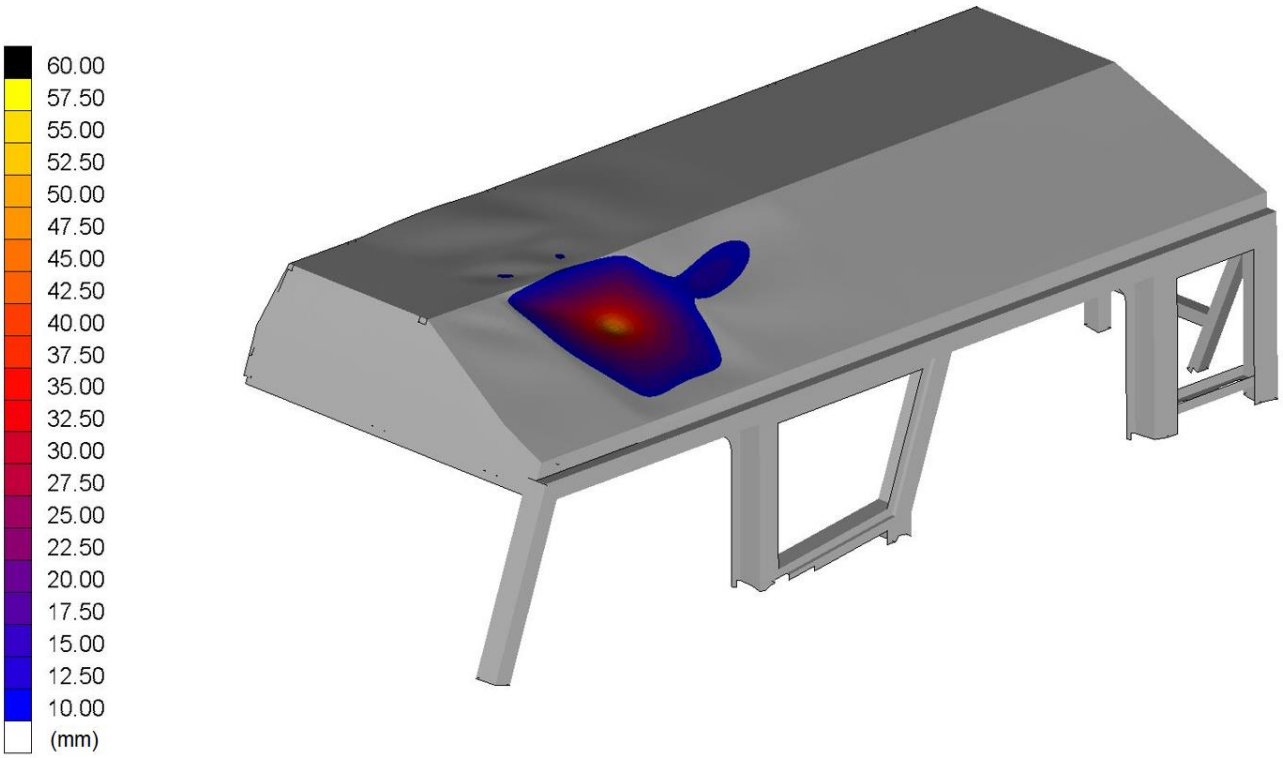
4.5. Hodnocení výsledků MKP výpočtu zkoušky FOPS

Hodnocení zkoušky FOPS se provádí podle několika kritérií. Podle normy ČSN EN ISO 3449 hlavním kritériem splnění zkoušky FOPS je schopnost přenášet předepsanou minimální hodnotu deformační energie o velikosti 1360 J (víz vzorec (3)). Na obrázku č. 34 je zobrazen graf, ze kterého vzplývá, že kabina tuto hodnotu splňuje pří deformačním posunutí větším než 55 mm.



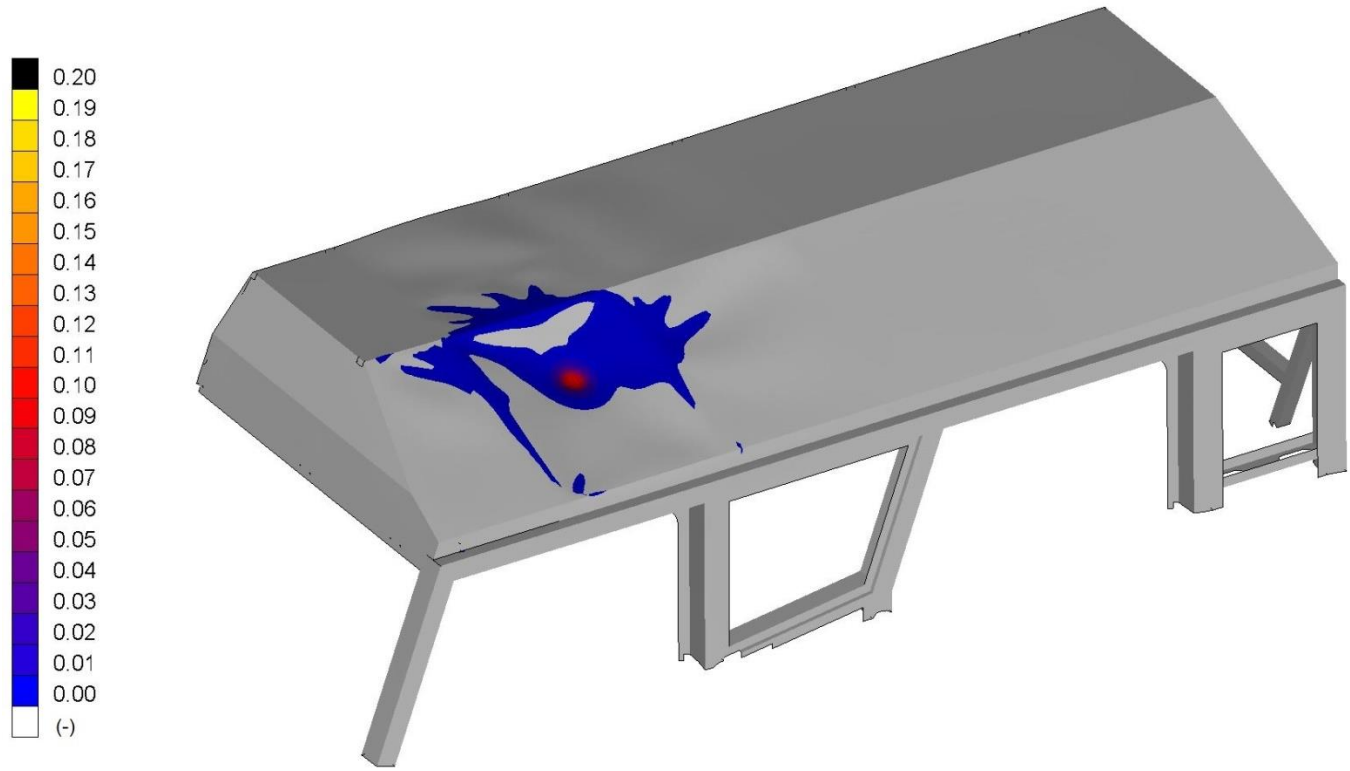
Obr. 34. Graf deformační energie v závislosti na deformačním posunutí.

Dále jsou sledovány výsledné deformace vzniklé za působení gravitační síly od zkoušecího tělesa. Na obrázku č. 35 je vidět, že největší deformace o hodnotě kolem 58 mm působí v místě přímého nárazu a rozšiřuje se na vedlejší plechy. Obdélníkové profily umístěné kolem místa působení vnější síly přenášejí výrazně menší deformace kolem 15 mm. (víz příloha č.5)



Obr. 35. Výsledné deformační posunutí (mm) kabiny po zkoušce FOPS.

Dalším kritériem pro hodnocení zkoušky FOPS je výsledné poměrné přetvoření. Z obrázku č. 36 lze posoudit, že největší poměrné přetvoření o hodnotě kolem 17 % působí v místě kontaktu kabiny se zkoušecím tělesem. Co se týče jeklových profilů kolem místa působení síly, tam je způsobeno minimální přetvoření kolem 1 % (víz příloha č.5). Hlavním bodem hodnocení splnění tohoto kritéria je udržování hodnot poměrného přetvoření pod mezními hodnotami tažnosti používaných materiálů. Tato kabina má největší přetvoření menší než mezní hodnota tažnosti 22 % (víz. tab. 1). To znamená, že v žádném místě kabiny nedošlo k porušení materiálu a kabina toto kritérium splňuje. Z obdržených výsledků se dá posoudit, že kabina je dost bezpečná pro posádku. To znamená, že při působení vnějšího zatížení o zkoušených hodnotách (víz vzorec č. 3) nedojde ke kontaktu střechy s hlavou řidiče.



Obr. 36. Výsledné poměrné přetvoření (-) kabiny po zkoušce FOPS.

Na základě provedeného hodnocení dle kritérií předepsaných v normě ČSN EN ISO 3449 se dá posoudit, že kabina je bezpečná, navržená správně, splnila požadavky na ochranu proti padajícím předmětům a je přípustná pro použití v silničním provozu. [7]

5. Závěr

V první teoretické části diplomové práce byla probrána problematika kabiny nákladního vozidla jako součásti karosérie. Byly rozepsané obecně stanovené požadavky na jejich konstrukci a výrobu včetně požadavků na aktivní a pasivní bezpečnost, ochranu posádky proti působení vnějších vlivů, vibrací atd. Byly popsány zásady umístění osob v kabině s účelem zajištění správné ergonomie pro bezpečnost posádky a menší práci řidiče během jízdy. Dále byly popsány běžně používané typy kabin na příkladech nákladních vozidel od různých výrobců podle účelu k jejich použití, počtu míst pro posádku atd. Na konci této části byly zpracované informace ohledně několika skupin materiálů používaných pro stavbu kabin a možností technologického zpracování pro výrobu.

Ve druhé praktické části této práce byl realizován konstrukční návrh dle zvoleného konceptu hasičské posádkové kabiny pro šest až osm osob. Byl podrobně popsán postup návrhu kabiny začínající od vytvoření profilového modelu, který se používá pro definování vnějších tvarů o základních rozměrech délky, šířky a výšky. V další fázi vývoje kabiny byl realizován konstrukční návrh sestavy svařence, který se skládá z několika podsestav jako podélníky, bočnice, zadní stěna a dalších dílů. Zpravidla to jsou ohýbané plechy nebo obdélníkové profily vyráběné z různých druhů ocelí. Závěrečná fáze konstrukce kabiny přestavuje sestava lepení, která se skládá ze svařence a několika hliníkových lepených dílů uzavírajících prostor kabiny mezi dveřmi, na střeše, v zadní stěně atd. Následně sestava lepení vstupuje do sestavy celkového vozidla, kde bude montována na žebřinový rám.

Třetí praktická část práce se zabývala ověřením pasivní bezpečnosti navržené kabiny. Bylo to provedeno pomocí simulací zkoušky ROPS pro boční zatěžování a zkoušky FOPS úroveň I v souladu se tradičně dohodnutými normami. Prvním krokem bylo vytvoření skořepinového modelu svařence kabiny pro zjednodušení geometrie s cílem zmenšit výpočtové časy, který pro simulace zkoušky ROPS trval 16 hodin a 8 hodin pro FOPS . Dále byl popsán postup definování výpočtové úlohy zkoušky ROPS pro boční zatěžování. Potom byly hodnoceny výsledky obdržené po simulaci, kde byly vysvětleny požadavky pro splnění zkoušky. Na základě těchto hodnocení bylo stanoveno, že kabina tuto

zkoušku splňuje. V příloze jsou ještě dodány výsledky působícího deformačního posunutí u zkoušky ROPS pro svislé a podélné zatěžování s cílem ukázat, že kabina splňující požadavky při působení bočního zatížení zpravidla i splňuje tuto zkoušku ve zbývajících provedeních. Podobným postupem byla provedena zkouška FOPS úroveň I s uvedením podrobného popisu definování výpočtové úlohy, požadavků kladených na kabinu a výsledného hodnocení, kde došlo k závěru, že kabina danou zkoušku splnila.

Kromě příloh k diplomové práci byl dodán výkres sestavy lepené kabiny s uvedeným umístěním jednotlivých dílů, poznámkami k správnému nalepení hliníkových dílů ke svařenci a kusovníkem.

Seznam použitých zdrojů

[1]. https://eur-lex.europa.eu. [Online] EUR-Lex, 2022.
[Citace: 20.05.2022]

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A42019X1850&qid=1652080328570

[2]. Vlk, F.: Karosérie motorových vozidel, Nakladatelství a vydavatelství VLK, Brno 2000.
[Citace: 20.05.2022]

[3]. https://www.tatra.cz [Online] TATRA TRUCKS a.s., 2022.
[Citace: 20.05.2022]

https://www.tatra.cz/proc-tatru/technicka-koncepce-tatra/kabiny/

[4]. https://www.daftrucks.cz. [PDF] DAF Trucks CZ, s.r.o., 2022.
[Citace: 20.05.2022]

https://napatrucks.cz/daf-lf-euro-6-exterier

[5]. https://www.scania.com. [Online] Scania CV AB, 2022.
[Citace: 20.05.2022]

https://www.scania.com/au/en/home/products-and-services/trucks/our-range/crewcab.html

[6]. ČSN EN ISO 3471 (277535) *Stroje pro zemní práci*: Ochranné konstrukce chránící při převrácení - Požadavky na laboratorní zkoušky a provedení.

[Citace: 20.05.2022]

[7]. ČSN EN ISO 3449 (277534) *Stroje pro zemní práce*: Ochranné konstrukce chránící před padajícími předměty - Laboratorní zkoušky a požadavky na provedení. 2009.

[Citace: 20.05.2022]

[8]. Podklady společnosti AV R&D, s.r.o.. [PDF]

[Citace: 20.05.2022]

Seznam výkresů

Výkres č.1: KVM-DP-745-01, KABINA TUL - LEPENÍ

Seznam příloh

Příloha 1 Zatěžovací charakteristika silentbloků

Příloha 2 Detail výsledného deformačního posunutí a plastické přetvoření v místě největšího namáhání u zkoušky ROPS

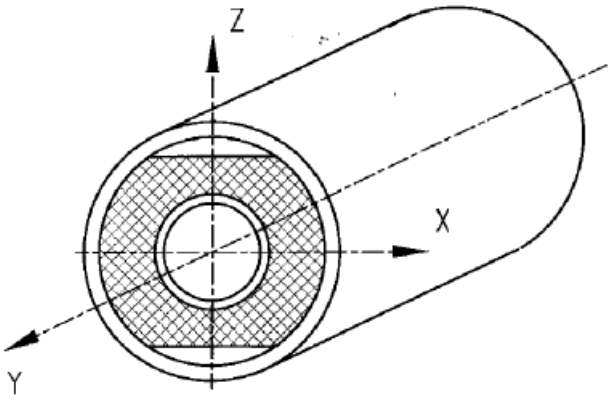
Příloha 3 Výsledné deformační posunutí pro zkoušku ROPS v podélném provedení

Příloha 4 Výsledné deformační posunutí pro zkoušku ROPS ve svislém provedení

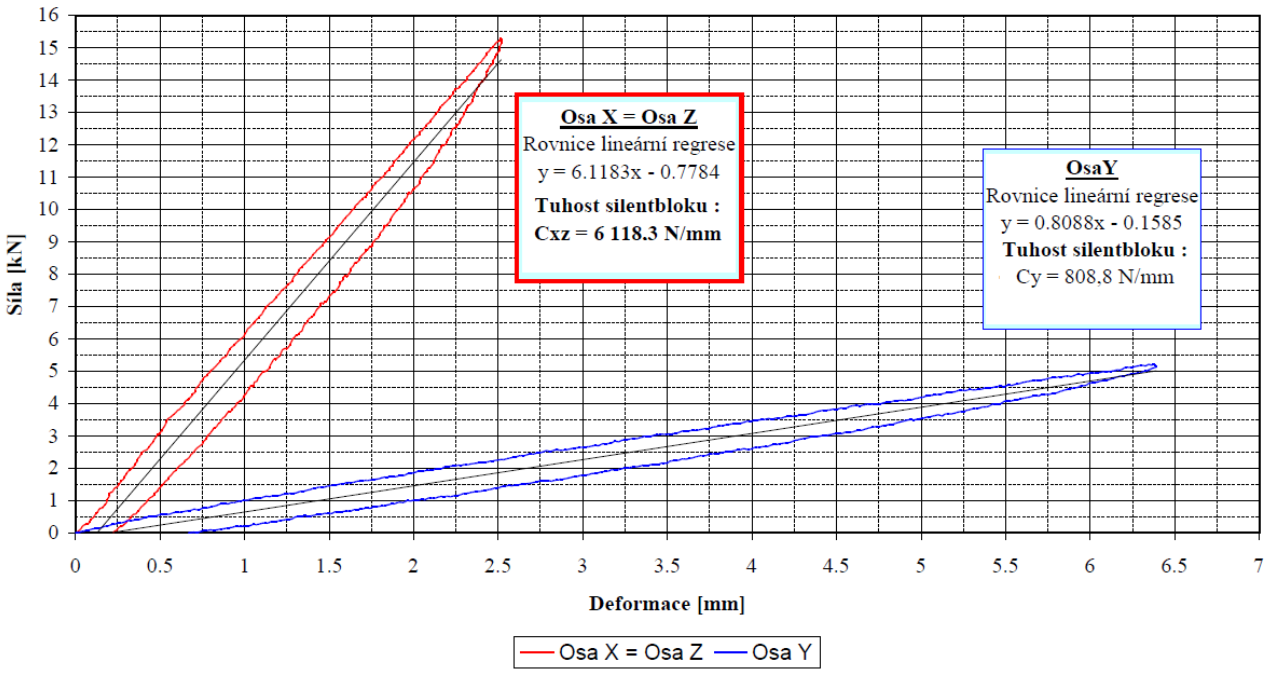
Příloha 5 Výsledné deformační posunutí a plastické přetvoření pro zkoušku FOPS v pohledu zespodu

Příloha 1

Souřadnicový systém úplných silentbloků použitých pro uložení kabiny během zkoušky ROPS. (víz. kap. 4.2.)

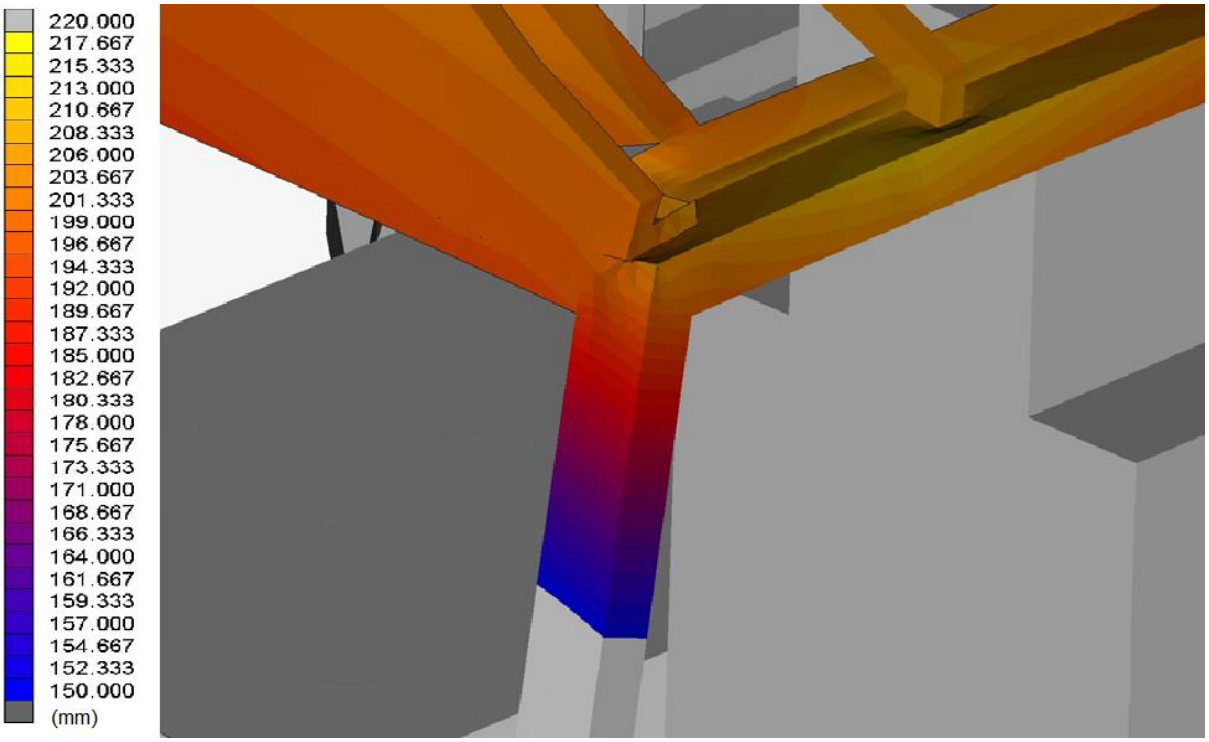


Zatěžovací charakteristika silentbloku ve směrech x,y,z dle souřadnicového systému. Osa X,Z mají stejný průběh charakteristiky reprezentující radiální směr. Rovnice zatěžovacích charakteristik je vidět na obrázku dole, kde y je síla [kN] a x je deformace silentbloku [mm]. [8]

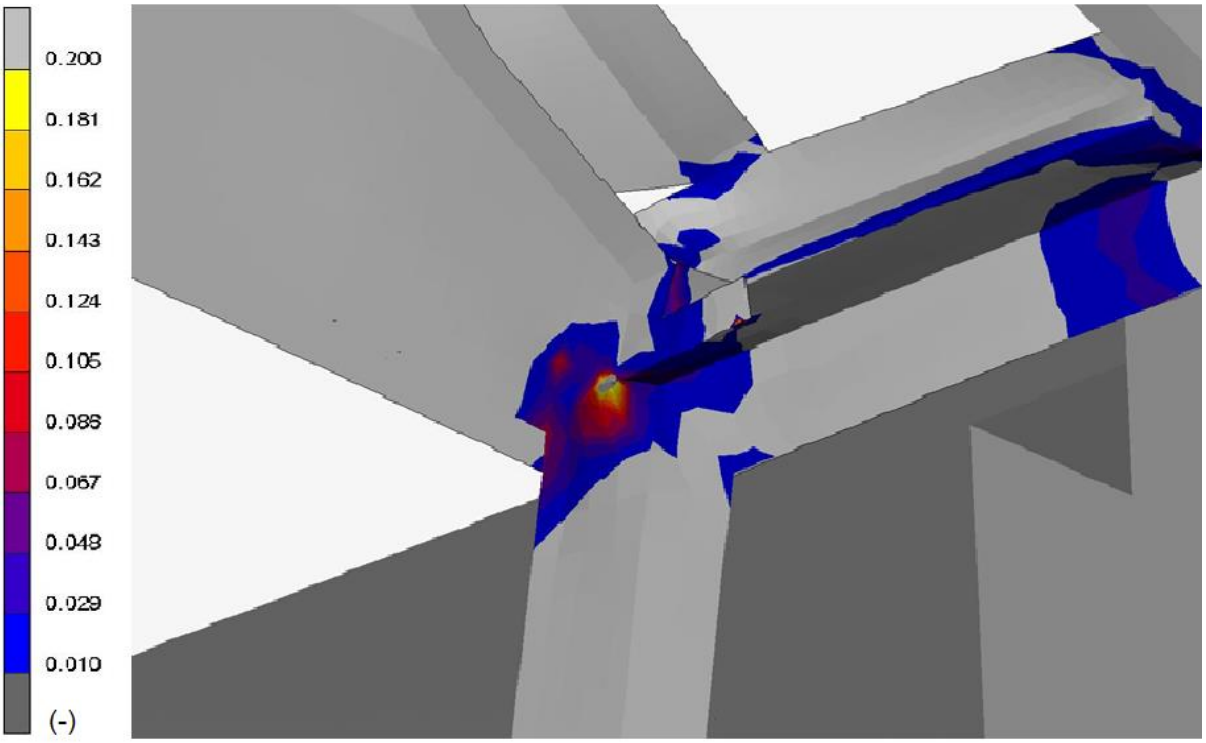


Příloha 2

Detail výsledného deformačního posunutí v místě největšího namáhání u zkoušky ROPS v rozmezí od 150 do 220 mm. (víz č.1 podle obrázku č. 30)

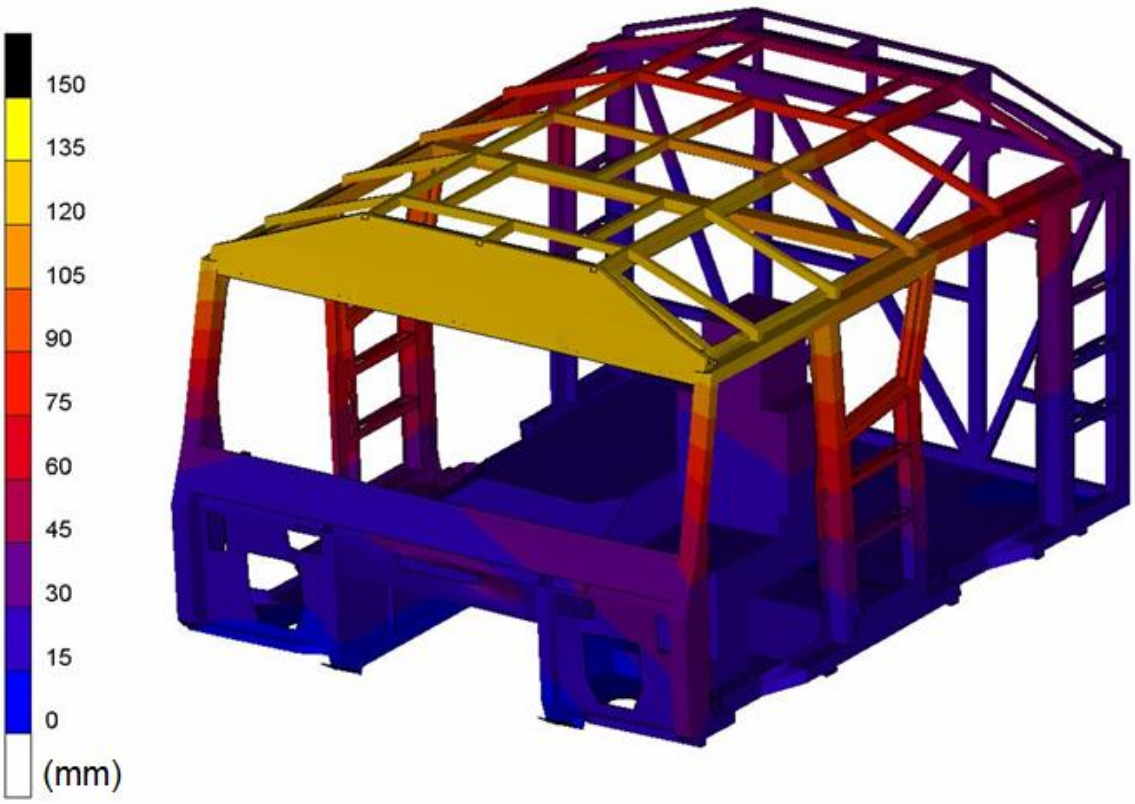


Detail výsledného plastické přetvoření v místě největšího namáhání u zkoušky ROPS v rozmezí od 0,01 do 0,2. (víz č.1 podle obrázku č. 30)



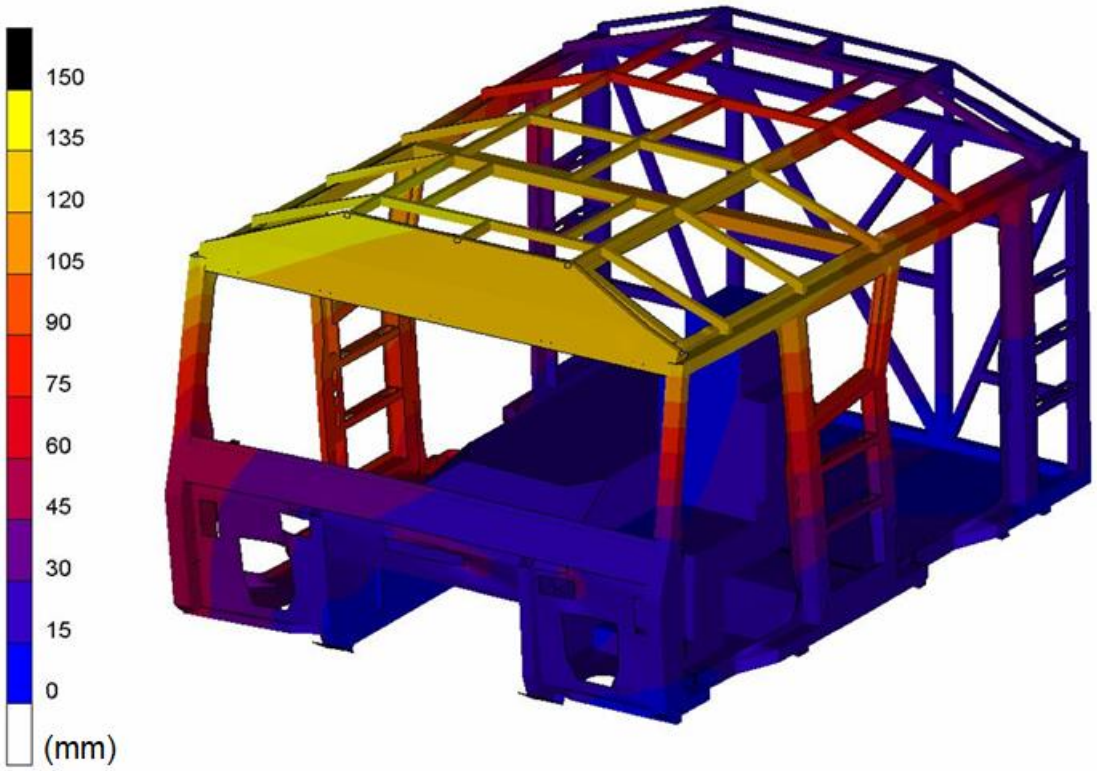
Příloha 3

Výsledné deformační posunutí pro zkoušku ROPS v podélném provedení v rozmezí od 0 do 150 mm. (víz obr. 24)



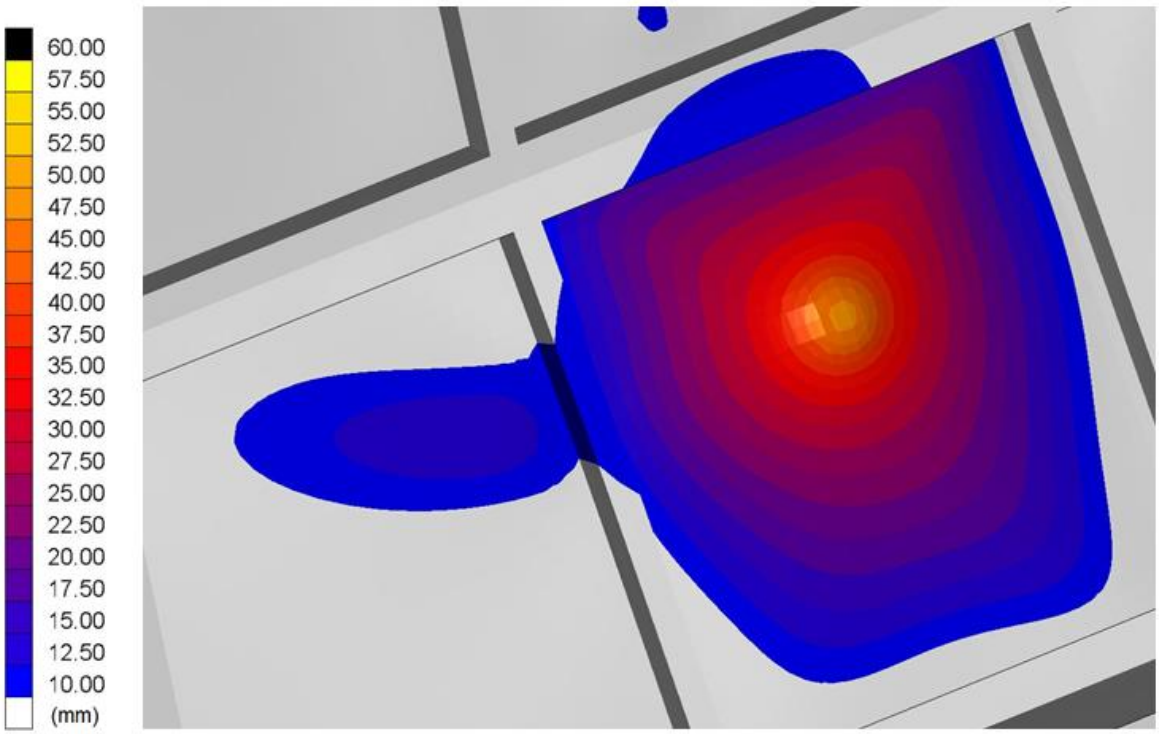
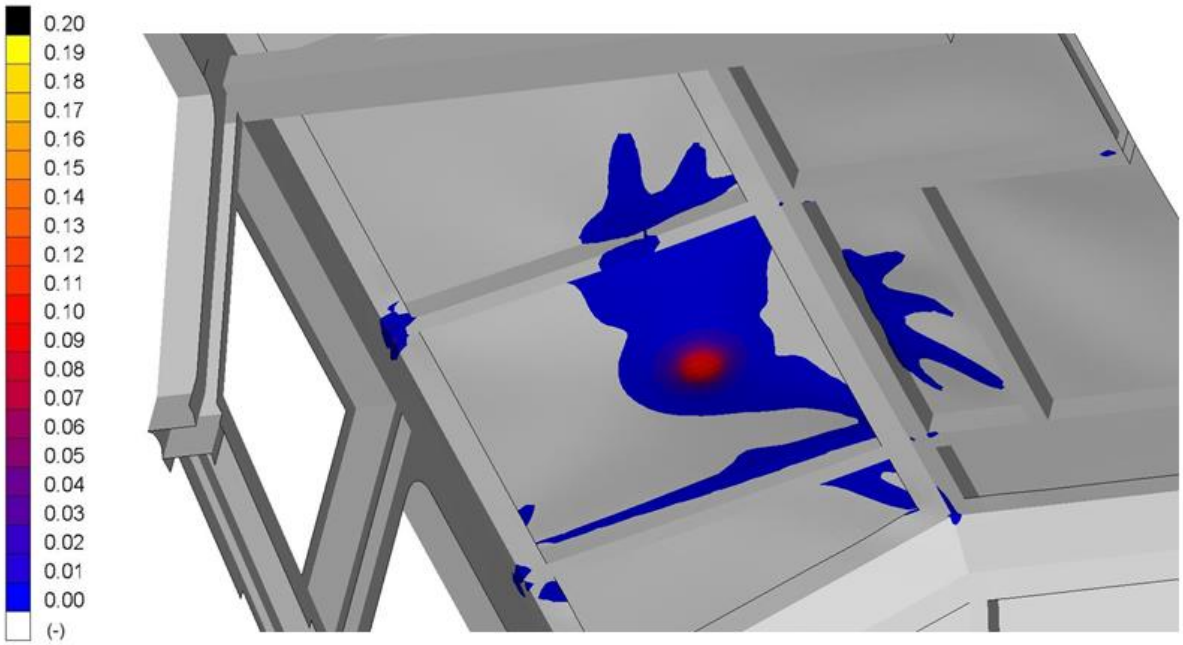
Příloha 4

Výsledné deformační posunutí pro zkoušku ROPS ve svislém provedení v rozmezí od 0 do 150 mm. (víz obr. 24)



Příloha 5

Výsledné deformační posunutí pro zkoušku FOPS v pohledu zespodu v rozmezí od 10 do 60 mm. (víz kap. 4.5.)



Výsledné plastické přetvoření pro zkoušku FOPS v pohledu zespodu v rozmezí od 0,01 do 0,2. (víz kap. 4.5.)