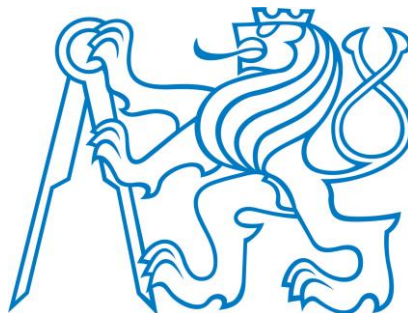


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta strojní
Ústav mechaniky, mechatroniky a biomechaniky
Odbor pružnosti a pevnosti

Ú12105.1



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh hrubé stavby skříňové lokomotivy
- analýza pevnosti a tuhosti

Design of locomotive structural work
- strength and stiffness analysis

Michal Culek

2016



ŠKODA

ANOTAČNÍ LIST

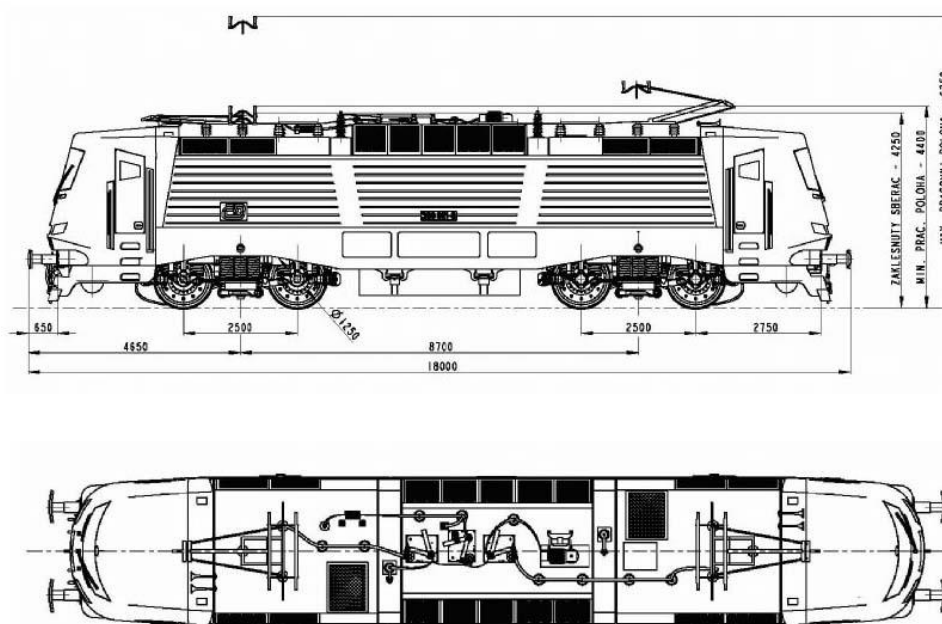
Jméno autora:	<i>Michal Culek</i>
Název DP:	<i>Návrh hrubé stavby skříňové lokomotivy - analýza pevnosti a tuhosti</i>
Name of diploma thesis:	<i>Design of locomotive structural work - strength and stiffness analysis</i>
Rok:	<i>2016</i>
Obor studia:	<i>Aplikovaná mechanika</i>
Ústav/Odbor:	<i>Ústav 12105.1 Ústav mechaniky/ Odbor pružnosti a pevnosti</i>
Vedoucí práce:	<i>Ing. Ctirad Novotný, Ph.D.</i>
Konzultant:	<i>Ing. Jaroslav Brodský, Škoda Transportation a.s.</i>
Bibliografické údaje:	<i>počet stran: 152</i> <i>počet obrázků: 139</i> <i>počet tabulek: 23</i> <i>počet příloh: 4</i>
Klíčová slova:	<i>lokomotiva, hrubá stavba, pevnost, tuhost, metoda konečných prvků</i>
Key words:	<i>locomotive, structural work, strength, stiffness, finite element method</i>
Anotace:	<i>Práce se zabývá návrhem nové bočnice pro skříňovou lokomotivu a následnou kontrolou pevnosti a tuhosti hrubé stavby dle ČSN EN 12 663-1:2010</i>
Abstract:	<i>The thesis is about design of new sidewall for casted locomotive and structural work strength and stiffness analysis acc. ČSN EN 12 663-1:2010</i>

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Udělují souhlas s užitím tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne





PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce *Ing. Ctiradu Novotnému Ph.D.* za pomoc při psaní diplomové práce, dále bych velmi rád poděkoval *Ing. Jaroslavu Brodskému* z firmy Škoda Transportation a.s. za trpělivost a cenné rady při návrhu hrubé stavby. V poslední řadě bych chtěl poděkovat firmě *Škoda Transportation a.s* za přijetí do trainee programu v rámci něhož vznikl základ pro tuto diplomovou práci.

OBSAH

ANOTAČNÍ LIST	3
PROHLÁŠENÍ	4
PODĚKOVÁNÍ	5
POUŽITÁ TERMINOLOGIE	10
ÚVOD.....	11
A. ŽELEZNIČNÍ DOPRAVA A VÝVOJ ELEKTRICKÝCH LOKOMOTIV V ČR	12
A.1. Železnice za Rakouska-Uherska	13
A.2. Železnice po vzniku Československa	13
A.3. Česká železnice po roce 1989 a rozpadu Československa	16
A.4. Budoucnost české železnice.....	17
B. MODERNÍ PRAXE PŘI KONSTRUKCI KOLEJOVÝCH VOZIDEL	18
C. KONSTRUKCE SKŘÍNĚ.....	19
C.1. Diferenciální (ocelová nebo hliníková).....	19
C.2. Integrovaná (ocelová nebo hliníková).....	20
C.1. Hybridní (kombinace předešlých s kompozitními materiály)	21
D. MATERIÁLY PRO STAVBY.....	22
E. SKŘÍNĚ LOKOMOTIV	23
F. STROJOVNY LOKOMOTIV.....	24
G. POPIS JEDNOTLIVÝCH MODELŮ LOKOMOTIV	25
G.1. Siemens Vectron.....	25
G.2. Bombardier Traxx	26
G.3. Pesa Gama	27
G.4. Newag Griffin	28
G.5. Škoda 109e.....	29
H. SHRNUTÍ ZE ZÍSKANÝCH MATERIÁLŮ	30
H.1. Hrubé stavby.....	30
H.1.1. Siemens Vectron	30
H.1.2. Bombardier TRAXX.....	31
H.1.3. Pesa Gama	32
H.1.4. Newag Griffin.....	33
H.1.5. Škoda 109e	34
H.2. Strojovny a další vybavení	35
H.2.1. Siemens Vectron	35



H.2.2.	Bombardier TRAXX.....	35
H.2.3.	Pesa Gama	36
H.2.4.	Newag Griffin.....	37
H.2.5.	Škoda 109e	38
I.	HRUBÉ STAVBY - VLASTNÍ NÁVRHOVÁ ČÁST	39
J.	HRUBÁ STAVBA – HLINÍKOVÁ BOČNICE.....	40
J.1.	Prvotní návrhy.....	40
J.1.1.	První návrh spojení kabiny s bočnicí	40
J.1.2.	Návrhy spojení mostu a bočnice	41
J.2.	Popis návrhu hrubé stavby	41
J.2.1.	Hlavní rám	41
J.2.2.	Kabinový modul.....	41
J.2.3.	Mezistěna	42
J.2.4.	Bočnice.....	42
J.2.5.	Montáž bočnice	43
J.2.6.	Mosty v konečném návrhu	44
J.3.	Navržené materiály pro hrubou stavbu	45
K.	HRUBÁ STAVBA – OCELOVÁ BOČNICE.....	47
K.1.	Prvotní návrhy.....	47
K.2.	Popis návrhu hrubé stavby	47
K.2.1.	Hlavní rám	47
K.2.2.	Kabinový modul.....	48
K.2.3.	Bočnice.....	48
K.2.4.	Mosty	48
K.2.5.	Mezistěna	49
K.2.6.	Montáž bočnice	49
K.3.	Navržené materiály a profily pro hrubou stavbu	49
L.	ZÁVĚR Z NÁVRHOVÉ ČÁSTI	51
M.	PEVNOSTNÍ A TUHOSTNÍ ANALÝZA	52
M.1.	Úvod.....	52
M.2.	Parametry pro FEM model.....	52
M.3.	Hmotnostní rozbor	52
M.4.	Zatížení	53
M.4.1.	Podélná statická zatížení skříně vozidla	53
M.4.1.1.	Podélné síly v prostoru nárazníků nebo spřáhel	53
M.4.1.2.	Tlakové síly na čelní stěně	55
M.4.2.	Svislá statická zatížení skříně vozidla.....	55
M.4.2.1.	Maximální provozní zatížení	55



M.4.2.2.	Zdvihání a zvedání.....	56
M.4.3.	Mezní statická zatížení vazeb	57
M.4.3.1.	Druhy mezních zatížení spojené skříně s podvozkem	57
M.4.3.2.	Druhy mezních zatížení v místech uchycení vybavení.....	57
M.5.	Aerodynamické zatížení.....	57
M.6.	Únavová zatížení	58
M.6.1.	Druhy základních únavových zatížení skříně vozidla	58
M.6.1.1.	Zatížení vyvolaná kolejí	58
M.6.1.2.	Vyvíjení tažné síly a brždění	58
M.6.1.3.	Zatížení pluhu	59
M.6.1.4.	Zatížení sběrače	59
M.6.1.5.	Aerodynamické únavové zatížení.....	59
M.7.	Vyhodnocení napětí dle ČSN EN 12 663-1:2010	60
M.8.	Uložení skříně - okrajové podmínky	61
M.8.1.	Okrajové podmínky pro běžné zatěžovací stavy	62
M.8.2.	Okrajové podmínky pro zvedání vozidla	63
M.9.	Nahrazení komponent hmotnými body	64
M.10.	Výpočet hrubé stavby s hliníkovou bočnicí.....	66
M.10.1.	Geometrie výpočtového modelu	66
M.10.2.	Síť modelu.....	67
M.10.3.	Použité materiály.....	67
M.10.4.	Kombinace statických zatížení	71
M.10.5.	Únavová zatížení	71
M.10.6.	Kritická místa konstrukce	74
M.10.7.	Výsledky výpočtů	77
M.10.7.1.	Statické zatížení - výsledky	77
M.10.7.2.	Únavová zatížení - výsledky.....	78
M.10.7.3.	Deformace vozidla	78
M.10.7.4.	Modální analýza	78
M.10.8.	Výsledky výpočtu hrubé stavby s hliníkovou bočnicí	79
M.10.9.	Komentář k výsledkům analýzy hrubé stavby.....	127
M.10.9.1.	Kritická místa	127
M.10.9.2.	Statické zatížení	127
M.10.9.3.	Deformace skříně svislým zatížením.....	128
M.10.9.4.	Únavová zatížení.....	128
M.10.9.5.	Modální analýza	128
M.11.	Výpočet hrubé stavby s ocelovou bočnicí.....	129
M.11.1.	Geometrie výpočtového modelu	129
M.11.2.	Síť modelu.....	130



M.11.3.	Použité materiály	130
M.11.4.	Kombinace statických zatížení	134
M.11.5.	Výsledky výpočtů	134
M.11.5.1.	Statické zatížení výsledky	134
M.11.5.2.	Deformace vozidla	134
M.11.6.	Komentář k výsledkům analýzy hrubé stavby s ocelovou bočnicí	143
N.	ZÁVĚR	144
O.	SEZNAM OBRÁZKŮ	145
P.	SEZNAM TABULEK	149
Q.	REFERENCE	150
R.	PŘÍLOHY	151
S.	VYSVĚTLENÍ PŘEZDÍVEK LOKOMOTIV	152



POUŽITÁ TERMINOLOGIE

<i>Lokomotiva</i>	–	<i>hnací kolejové vozidlo určené pro tažení vlaků</i>
<i>Traťová lokomotiva</i>	–	<i>lokomotiva určená pro traťovou službu</i>
<i>Skříň kolejového vozidla</i>	–	<i>největší část kolejového vozidla, nese veškeré vybavení (trakční výzbroj, prostor pro cestující)</i>
<i>Hrubá stavba</i>	–	<i>skříň kolejového vozidla bez vybavení, svařenec připravený k lakování a montáži vybavení</i>
<i>Rám</i>	–	<i>hlavní část celé hrubé stavby, přenáší největší zatížení z celé lokomotivy</i>
<i>Podélník rámu</i>	–	<i>nosník po celé délce rámu přenášející podélné síly</i>
<i>Příčník rámu</i>	–	<i>nosník umístěný kolmo na podélník, používá se k montáži čepů podvozku, případně drží trakční transformátor</i>
<i>Bočnice</i>	–	<i>podélná součást hrubé stavby, zakrývá strojovnu z boků, v závislosti na konstrukci je nosná (přenáší zatížení společně s rámem) nebo nenosná</i>
<i>Střešní modul</i>	–	<i>zakrývá strojovnu shora, nese střešní vybavení, hlavně pantografy, případně ventilaci a chlazení trakční výzbroje</i>
<i>Kabinový modul</i>	–	<i>modul se stanovištěm strojvedoucího, případně nese nárazníky</i>
<i>Trakční výzbroj</i>	–	<i>elektrická část lokomotivy složená z prvků pro pohyb lokomotivy (transformátor, motory, měniče)</i>
<i>Trakční transformátor</i>	–	<i>součást trakční výzbroje, která transformuje střídavý proud pro trakční měniče, nejtěžší součást celé trakční výzbroje</i>
<i>Podvozek</i>	–	<i>sestava, která zajišťuje styk lokomotivy s kolejí, skládá se z rámu podvozku, trakčních motorů, dvojkolí, brzdového ústrojí, se skříní je spojena obvykle přes čep a sekundární vypružení</i>
<i>Pantograf</i>	–	<i>sestava, která zajišťuje styk lokomotivy s trolejí, přenáší elektrický proud z troleje do střešního vybavení</i>

ÚVOD

Návrh nové konstrukce hrubé stavby lokomotivy vychází z modelu Emil Zátopek Škoda 109e3 NIM¹, zároveň jako srovnání bylo použito konstrukční řešení jiných firem. Cílem práce je najít nové možnosti pro konstrukci tak, aby nová hrubá stavba byla méně pracná na výrobu, lehčí a zároveň i levnější. Bude proveden návrh a kontrola nové bočnice, kde stávající řešení pochází z lokomotiv Škoda řady Emil Zátopek, která částečně navazuje na prototyp Škoda 85e0, které je již nevyhovující z důvodů náročné výroby a montáže do hrubé stavby. Nyní je bočnice tvořena dvěma prolisovanými ocelovými plechy, které jsou bodově svařeny dohromady a fungují podobně jako sendvičový prvek. Tato sestava se následně navaří mezi kabinové moduly, bočnice zároveň nese střešní moduly. Pro novou bočnici budou použity moderní materiály, tak aby byla co nejlehčí a splňovala požadavky na mechanické vlastnosti.



Obrázek 1 - Škoda 109e3 NIM

www.zpravy.idnes.cz



Obrázek 2 - Škoda 85e0 „Asynchron“

www.prototypy.cz

¹ Nürnberg-Ingolstadt-München (NIM) Express – regionální železniční trať DB (Deutsche Bahn) Regio v Německu, pro kterou Škoda Transportation a.s. vyrábí 6 Push-pull souprav s lokomotivou

A. ŽELEZNIČNÍ DOPRAVA A VÝVOJ ELEKTRICKÝCH LOKOMOTIV V ČR²

Česká republika má hustotu železniční sítě na světě 0,12 km kolejí na 1 km² a tím se řadí mezi země s největší hustotou železniční sítě na světě. Pro srovnání USA má hustotu železniční sítě 0,02 km/1 km² a Japonsko 0,06 km/1 km². V roce 2014³ měla u nás železniční síť celkem 9 458 km a 23 756 výhybek, z toho bylo 1 329 km tratí zařazeno mezi evropské koridorové tratě, na tratích bylo 6 798 mostů a 164 železničních tunelů. Provozovatel a správce kolejové sítě je SŽDC⁴ a majoritní železniční dopravce jsou České Dráhy a.s.. Soukromé společnosti Regiojet a.s. a Leo Express a.s. provozují expresní dopravu na trati Praha-Ostrava.



Obrázek 3 - Příklad husté železniční sítě v okolí 1. tranzitního koridoru (trat' 091,090,083,814)

www.szdc.cz/onas

² Zpracováno podle (Kopecký, a další, 1989) (Nohovcová, 2012)

³ K 31.12.2014 - <http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/zeleznicni-sit-v-cr.html>

⁴ Správa železniční a dopravní cesty (SŽDC)

A.1. Železnice za Rakouska-Uherska

Železnice má v českých zemích dlouholetou tradici už z dob Rakouska-Uherska, první železnicí byla koněspřežná trať Linec-České Budějovice otevřená v září 1827. Od 60. a 70. let 19. století se začíná psát historie parostrojní dráhy v Čechách. Železniční síť se postupně rozrůstala o vlečky k továrnám, regionální tratě a hlavní tratě mezi velkými městy. V té době se propojovaly i železnice mezi okolními státy, například trať Děčín-Drážďany byla uvedena do provozu v roce 1851 a dnes je součástí 1. rychlostního koridoru. V roce 1903 byla zprovozněna první elektrifikovaná trať v Čechách a to trať 202 Tábor-Bechyně, byla elektrifikovaná stejnosměrným napětím 1,5 kV a tato soustava zde zůstala dodnes.



Obrázek 4 - Lokomotiva řady 375 „Hrboun“, vrchol Rakouské lokomotivní konstrukce

www.parostroj.net

A.2. Železnice po vzniku Československa

Při vzniku Československa byly založeny Československé dráhy (ČSD), které sloučily různé železniční společnosti, které vznikly za Rakouska-Uherska. V té době začala v plzeňské Škodovce výroba parních lokomotiv, které našly svůj odbyt po celém světě, další významný výrobce lokomotiv v Česku byla firma Českomoravská-Kolben-Daněk (ČKD). V roce 1928 začala elektrifikace českých tratí napájecí soustavou 1,5 kV DC⁵, tato výstavba byla přerušena 2. světovou válkou. Během druhé světové války se dráhy rozdělily na České a Slovenské dráhy. Po válce bylo nejdůležitější zprovoznit poškozené tratě. Také byl obnoven projekt elektrifikace Československa avšak jinou napájecí soustavou a to: 3 kV DC. Byly proto objednány nové elektrické lokomotivy, které vyráběla Škoda Plzeň (od roku 1953-65 Závody V.I. Lenina). Poslední parní lokomotiva v Československu byla vyrobena v roce 1958, dále se vyráběly pouze lokomotivy elektrické a motorové, poslední parní lokomotiva v pravidelném provozu dojezdila v roce 1983.

⁵ DC – *stejnosměrný proud*, z anglického *directve current*

AC – *střídavý proud*, z anglického *alternating current*



Obrázek 5 – Lokomotiva 556.0510 „Štokr“ poslední vyrobená parní lokomotiva v ČSR

www.commons.wikipedia.com



Obrázek 6 – Lokomotiva řady 140 „Bobina“ první poválečná elektrická lokomotiva

www.commons.wikipedia.com

V roce 1963 byla zahájena elektrifikace střídavou soustavou 25 kV 50 Hz. V té době se vedly diskuze, který systém je výhodnější: stejnosměrná soustava umožňuje jednodušší hnací vozidla, avšak je náročnější na elektrickou infrastrukturu tratě (měničky), střídavá soustava ať už 15 kV 16,3 Hz, nebo 25 kV 50 Hz je méně náročná na infrastrukturu, avšak vozidla musí být vybavena trakčním transformátorem, který značně navyšuje hmotnost lokomotiv. Pro střídavou soustavu byla vyvinuta šesti-nápravová lokomotiva řady 280. Ve své době to byla nejsilnější lokomotiva Škoda a navíc měla jako první lokomotiva na světě skříň z laminátu, byla vyrobena v jediném kusu a dnes stojí vystavená v Techmania Science Center v Plzni.



Obrázek 7 – Lokomotiva řady 280 „Laminátka“ vystavená v Plzni

www.commons.wikipedia.com

V místě styku napájecích soustav musely být až do 70. let 20. století vlaky přetahovány pomocí motorových lokomotiv, což značně prodlužovalo jízdní doby. Proto byla vyvinuta ve Škodovce první dvou-proudá lokomotiva řady 350 patřící k druhé generaci lokomotiv Škoda, která zajišťovala hlavní provoz mezi Prahou a Bratislavou. Lokomotiva je i přes značné stáří v provozu dodnes, její výkony dnes pomalu přebírá řada 380.



Obrázek 8 - Lokomotiva 350 „Gorila“

www.prototypy.cz

Do konce 80. let 20. století pokračovala elektrifikace tratí a také vývoj lokomotiv Škoda, který vedl k lokomotivám, které můžeme vidět na našich kolejích dodnes nejčastěji. Dvou-systémové lokomotivy řady 363 a 362 a z nich odvozené stejnosměrné lokomotivy řady 163 a 162, které vznikly vypuštěním střídavé části trakční výzbroje z lokomotivy 363.

Pro provoz na sklonově náročných tratích a vozbu těžkých nákladních vlaků mezi Ostravou a Košicemi byla vyvinuta dvojdílná lokomotiva řady 131.



Obrázek 9 - Lokomotiva řady 363 „Eso“ a lokomotiva řady 163 „Pershing“

www.skoda.cz/www.commons..wikipedia.cz



Obrázek 10 - Lokomotiva řady 131 „Dvojička“

www.zelpage.cz

Poslední lokomotivou druhé generace Škoda byla řada 372 a modernizovaná řada 371. Tato lokomotiva vznikla ve spolupráci s německými dráhami jako dvou-systémová pro soustavy 3 kV DC a 15 kV 16,2 Hz AC, která by umožňovala jízdu vlaku bez přepřahu z Prahy až do Drážďan. V místě styku soustav mezi Dolním Žlebem na české straně a Schönuou na německé straně, byly vlaky do té doby přetahovány diesellovou lokomotivou. Bohužel požadavky německých drah vedly k tomu, že řada 372 byla vybavena zastaralými technickými řešeními (odporová regulace výkonu proti v té době moderní pulzní regulaci), takže lokomotiva 372 byla už v době vývoje v podstatě zastaralá. Později bylo 6 lokomotiv upraveno na řadu 371 a jejich rychlost zvýšena ze 120 km/h na 160 km/h. Tyto lokomotivy dodnes vozí vlaky EC mezi Prahou a Drážďany. Sedmou lokomotivu 371 201-5 „Gottlieb“ dostaly ČD od DB za poškozenou lokomotivu 372 006-7. Poškozená lokomotiva 372 byla opravena a jezdí dodnes u ČD Cargo.



Obrázek 11 - Lokomotivy řady 372 „Bastard“ a 371 „Turbobastard“

www.trainfoto.eu

A.3. Česká železnice po roce 1989 a rozpadu Československa

Před rokem 1989 byl zahájen vývoj lokomotiv 3. generace, který skončil prototypem lokomotivy 169 (Škoda 85e0 zmíněná v úvodu). Bohužel společenské změny neumožnily další vývoj této perspektivní řady lokomotiv. Za lokomotivu 3. generace lokomotiv Škoda je nyní považována řada 380 (Škoda 109e). Po rozpadu Československa došlo k rozdělení československých drah na České dráhy a Železniční společnost Slovensko (ZSSK) a dělení lokomotivního parku v poměru 2:1. V roce 1996 byla představena šesti-nápravová lokomotiva řady 184, která měla nahradit zastaralé lokomotivy 1. generace Škoda, avšak po roce 1989 se změnilo stanovisko Českých drah a lokomotiva byla vyrobena pouze v šesti kusech.



Obrázek 12 - Lokomotiva řady 184

www.prototypy.cz

V roce 2003 bylo zadáno výběrové řízení na novou více systémovou lokomotivu, které skončilo vývojem lokomotivy řady 380.



Obrázek 13 - Původní design lokomotivy 380

www.k-report.net/koridory

A.4. Budoucnost české železnice

V současné době česká železnice prochází velkou obměnou vozového parku. Nakupují se nové vozy, rekonstruují se starší vozidla, objevují se ve větší míře nové elektrické jednotky a celkově dochází k obnově celé infrastruktury. Do budoucna se plánuje přechod na nový evropský vlakový zabezpečovač ETCS⁶. Okolo roku 2030 je v plánu výstavba rychlostní železnice v úseku Drážďany-Ústí nad Labem-Praha⁷.



Obrázek 14 - Moderní jednotka 660 „Interpanter“ - nejnovější elektrická jednotka od Škoda Vagónka

www.skoda.cz

⁶ European Train Control System (ETCS) - Evropský vlakový zabezpečovač

⁷<http://www.vysokorychlostni-zeleznice.cz/reditel-szdc-sury-o-priprave-vysokorychlostni-zeleznice-v-ceske-televizi/>

B. MODERNÍ PRAXE PŘI KONSTRUKCI KOLEJOVÝCH VOZIDEL

Nejnovější kolejová vozidla musí splňovat normy EN 12 663-1:2010 pro návrh hrubých staveb, dále požadavky TSI⁸ UIC⁹, které se v roce 2008 promítly i do řešení lokomotivy 109e, která musela být podle nich přestavována a jako první lokomotiva na světě tyto normy splňovala.¹⁰

Požadavky TSI v sobě mimo jiné zahrnují požadavky EN 15 227, pro odolnost vozidel proti nárazu do překážky, tudíž nově se kolejová vozidla navrhují na crashovou odolnost dle 4 návrhových situací obsažených v normě EN 15 227. TSI požadavky se vztahují především na vozidla, která jsou určena pro mezinárodní provoz (jsou z ní vyloučeny tramvaje, metra a další speciální dráhy) a definují požadavky na vozidla a jejich vybavení tak, aby byla použitelná v zemích, pro které byla vyrobena.



Obrázek 15 - Návrhové kolizní situace

přednáškové materiály z oboru Kolejová vozidla

⁸ Technical Specification for Interoperability – technické specifikace pro interoperabilitu

⁹ franc. Union Internationale des Chemins de fer – UIC; angl. International Union of Railways – Mezinárodní železniční unie

¹⁰ Schválena byla jako druhá, první schválenou lokomotivou byla Siemens Vectron

C. KONSTRUKCE SKŘÍNĚ

V současné době jsou hlavní konstrukční přístupy ke stavbě skříní tyto:

C.1. Diferenciální (ocelová nebo hliníková)

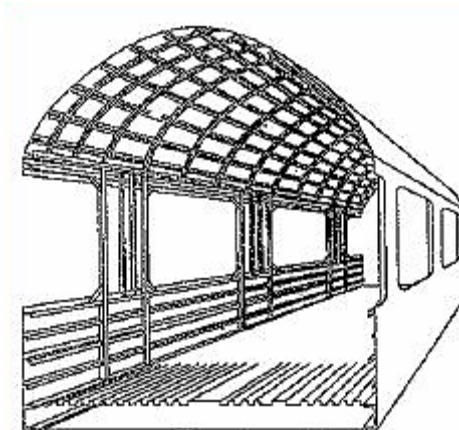
Tato konstrukce vznikla v 70. letech 20. století, je samonosná, složená z rámu, bočnic, čelníků a střechy. Název vznikl z toho, že každá součást má rozdílnou funkci.

Výhody:

- Snadná opravitelnost
- Velký sortiment plechů a profilů – nízká pořizovací cena materiálu

Nevýhody:

- Vysoký počet montážních dílů
- Převládající technologie svařování – náročnost výroby a vysoké náklady na výrobu



Obrázek 16 - Diferenciální stavba skříně

přednáškové materiály z oboru Kolejová vozidla

C.2. Integrální (ocelová nebo hliníková)

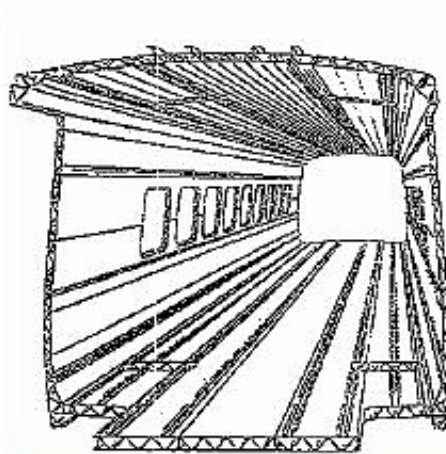
Tento princip konstrukce skříně je zcela odlišný od předchozí konstrukce. Každý díl stavby se skládá pouze z jednoho prvku, nejčastěji hliníkové integrované protlačované profily, které se skládají do výsledné stavby.

Výhody:

- Málo navařovaných dílů – nižší výrobní náklady, nižší pracnost
- Integrovaná funkce AL profilů

Nevýhody

- Špatná hmotnostní optimalizace
- Malý počet výrobců profilů – vyšší cena materiálu
- Nutno používat náročné a složité přípravky
- Velmi obtížná opravitelnost



Obrázek 17 – Integrální stavba skříně

přednáškové materiály z oboru Kolejová vozidla

C.1. Hybridní (kombinace předešlých s kompozitními materiály)

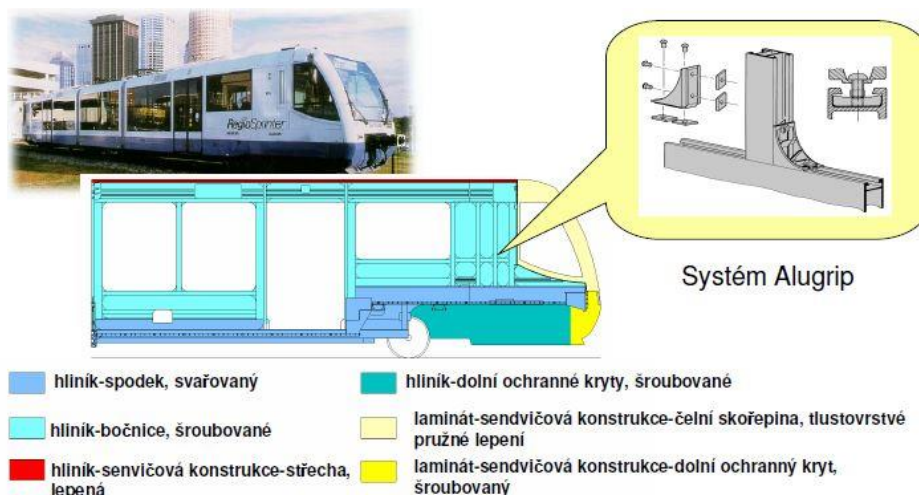
Díly skříně se skládají z prvků různého materiálu, například na tvarově členité prvky (čela) je vhodné využít kompozitní materiály z důvodu snazší výroby. Dále konstrukce optimálně využívá vlastnosti použitých materiálů, nevýhoda je v náročnosti spojování součástí z různých materiálů a horší recyklaci.

Výhody

- Využití vhodných vlastností materiálů pro různé díly
- Nižší hmotnost kompozitních dílů proti kovovým
- Snadná vyměnitelnost kompozitních dílů
- Možnost využití technologií jako lepení, pájení, šroubové spoje

Nevýhody

- Kvalita kompozitů je závislá na kvalitě výroby
- Náročné spojování
- Křehkost některých kompozitních materiálů (sklolaminát)
- Horší recyklace



Obrázek 18 - Hybridní stavba skříně

přednáškové materiály z oboru Kolejová vozidla



D. MATERIÁLY PRO STAVBY¹¹

Nosná struktura je nejčastěji složená z kovových materiálů (ocel, hliník). Návrhová teplota pro kolejová vozidla je od -25 do +45°C (EN 50 125-5), proto by vrubová houževnatost materiálů neměla klesnout pod $K_{cv} = 27 \text{ J.cm}^{-2}$, aby nedocházelo ke křehkému lomu. Dále je nutno sledovat svařitelnost materiálů, tedy uhlíkový ekvivalent u oceli a jejich další vlastnosti. Na komplikovanější prostorově tvarované díly jsou vhodné kompozitní materiály např. sendviče ze skelného laminátu.

Pro diferenciální stavbu se používají následující materiály:

- Standardní ocel s R_m 370-450 MPa..RSt 37-2 (1.0038) ČSN EN 10 025-2
- Standardní ocel s R_m 480-620 MPa..RSt 37-2 (1.0570) ČSN EN 10 025-2
- Ocel S355 J2G3 s R_e 355 MPa a R_m 510 MPa
- Ocel S500 QL s R_e 500 MPa a R_m 590 MPa

Na integrovanou stavbu jsou vhodné materiály:

- Profily protlačované.....AlMgSi0,7
- Vnější oplechování.....AlMgSi0,5
- Příčné střešní profily.....AlZn4,5Mg1

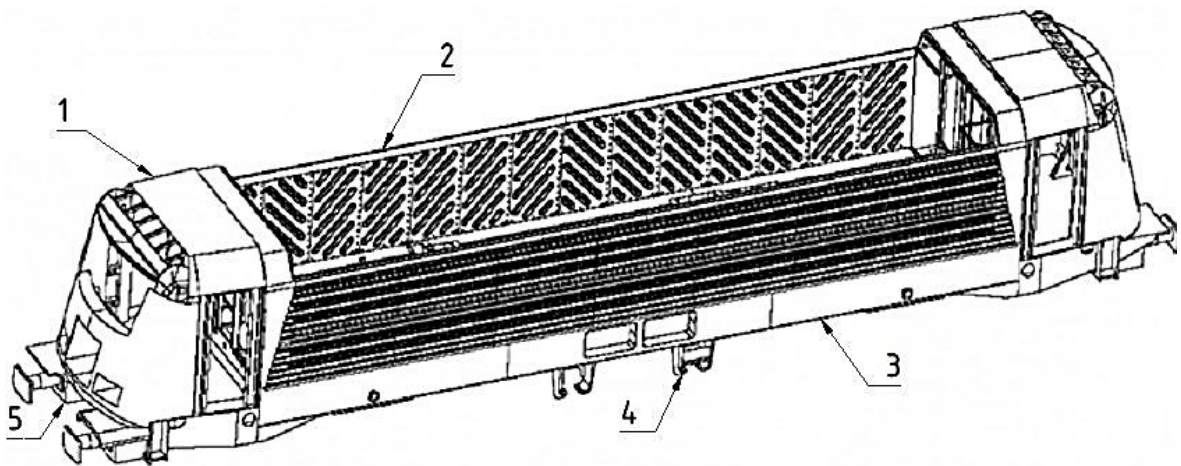
U konstrukce je nutno dbát na to, že při svařování dojde k degradaci materiálu, nejvíce u hliníku, a to až o 60%.

Vhodné kompozitní materiály jsou například skelné lamináty pro jejich dobrou tvarovatelnost, dále honeycomb strukturované díly jako deformační prvky. Dalším příkladem jsou sendvičové exteriérové panely Nidaplast 8 FR firmy Kompozity Michalík. Dále je velkým dodavatelem pro kolejová vozidla firma Form, která dodává různé prvky jako například vybavení stanovišť nebo boční panely pro elektrické jednotky.

¹¹ Zpracováno dle (Heller, a další, 2009)

E. SKŘÍŇĚ LOKOMOTIV

U traťové lokomotivy je mezi kabinami umístěna strojovna s trakčním vybavením, ať už se jedná o lokomotivu závislé nebo nezávislé trakce. Kvůli snazšímu přístupu k tomuto vybavení je střecha lokomotiv odnímatelná buď vcelku, nebo po částech. U elektrických lokomotiv je zejména díky velké hmotnosti trakční výzbroje kladen důraz na dodržení maximální celkové hmotnosti do 90 tun (tj. 22,5 tun na nápravu), v důsledku této podmínky a zároveň z důvodu vysoké hmotnosti trakčního vybavení je požadováno co nejúspornější hmotnostní řešení skříně lokomotiv. Hlavní znaky skříně traťové lokomotivy jsou mohutný svařovaný hlavní rám, k němu přivařené bočnice, kabinové moduly a střešní moduly.



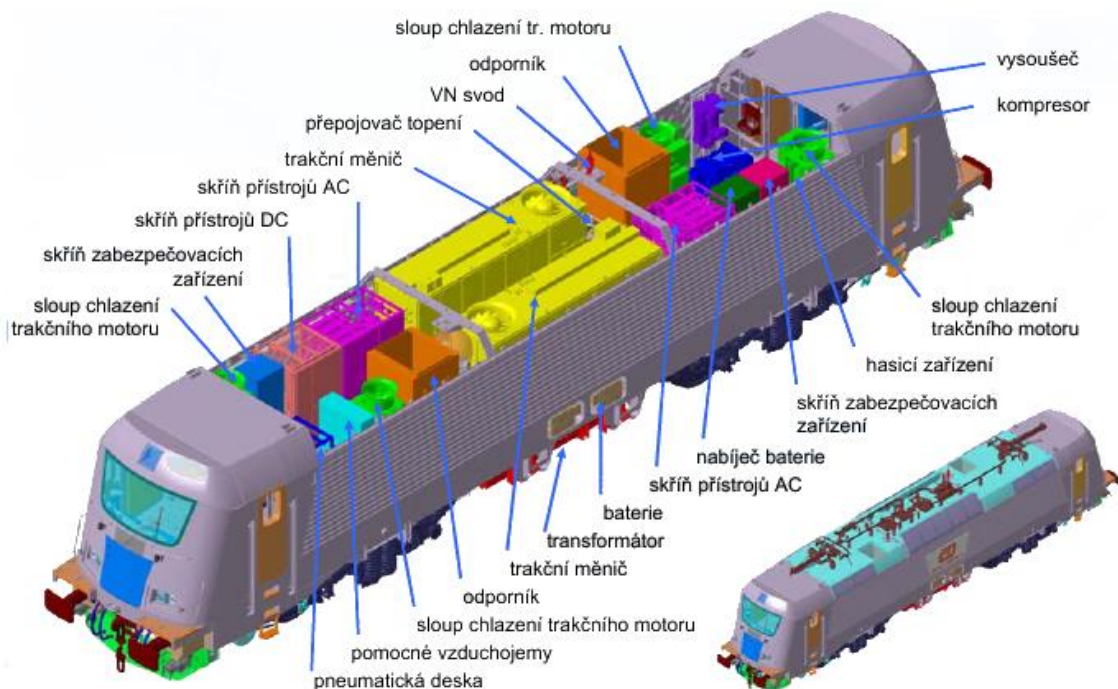
Obrázek 19 – Skříň lokomotivy 109e

www.109-e.wgz.cz / vlastní úprava

(1. Kabinový modul, 2. Bočnice, 3. Hlavní rám, 4. Konzola transformátoru, 5. Narážecí ústrojí)

F. STROJOVNY LOKOMOTIV

Moderní skříňová lokomotiva je vybavena nejrůznějším vybavením, ať už pro samotnou jízdu vozidla, tj. trakční vybavení: trakční transformátor, trakční měniče a brzdové odporníky. Dále pak chlazení jednotlivých výkonových prvků. přístrojové (pomocné pohony, řídicí počítač vozidla) a pneumatické vybavení (hlavní a pomocný kompresor a vzduchojemy). Ve strojně se často nachází i skříň vlakového zabezpečovače. Na českých, slovenských a dalších kolejích, které jsou elektrifikovány stejnosměrným napětím 3 000 kV se vyskytují stejnosměrné lokomotivy, které k provozu nepotřebují trakční transformátor, avšak v dnešní době se čím dál více prosazují dvou- a více systémové lokomotivy, případně jedno-systémové lokomotivy pro střídavé systémy 15,7 a 25 kV, proto jako příklad rozmístění vybavení strojně byla vybrána dvou-systémová lokomotiva a lokomotiva 109e.

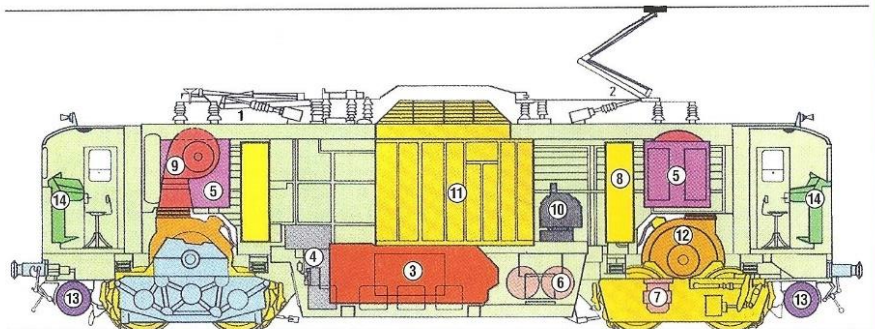


Obrázek 20 - Škoda 109e rozmístění přístrojů

www.109-e.wgz.cz

Pohled do útrobu moderní dvousystémové elektrické lokomotivy.

- 1 – sběrač střídavého proudu,
- 2 – sběrač stejnosměrného proudu,
- 3 – transformátor,
- 4 – regulátor napětí,
- 5 – usměrňovač,
- 6 – olejové chladiče,
- 7 – snímač zabezpečovacího systému,
- 8 – hlavní spínač,
- 9 – ventilátor chlazení motoru,
- 10 – brzdový kompresor,
- 11 – rozběhové odpory,
- 12 – trakční motor,
- 13 – vzduchojem,
- 14 – řídicí a kontrolní pult



Obrázek 21 - Příklad rozmístění přístrojů u dvou-systémové lokomotivy

Publikace ČEZ Energie kolem nás

G. POPIS JEDNOTLIVÝCH MODELŮ LOKOMOTIV

V této kapitole jsou popsány tyto nejmodernější lokomotivy: Vectron, Traxx, Gama a Griffin. Vectron a Traxx jsou od výrobců z Německa (Siemens a Bombardier), Gama a Griffin jsou z Polska (Pesa a Newag). A nakonec lokomotiva 109e od Škody Transportation.

G.1. Siemens Vectron



Obrázek 22 - Siemens Vectron

www.lidovky.cz

Nejnovější lokomotiva firmy Siemens vychází z řady Europrinter (Taurus), avšak byly na ní provedeny mnohé změny, zvláště u kabinového modulu. Lokomotiva je navržena tak, aby byla snadno konfigurovatelná podle potřeb zákazníka. Hlavní rám je samonosný se třemi podélníky. Rozvor podvozků je měnitelný. Střeška má tři střešní moduly a lze ji snadno sejmout. Kompozitní čelo lokomotivy je snadno vyměnitelné. Nárazníková část je opatřena velkými deformačními členy a v případě kolize je možné ji snadno nahradit. Trakční transformátor a baterie jsou umístěny pod rámem, všechno ostatní zařízení má své vlastní místo na předem určené pozici ve strojovně. Trakční síla z podvozků je přenášena přes otočný čep, trakční motor je v rámu uložen pružně a s dvojkolím je spojen s převodovkou přes spojku nebo kardanův hřídel. Brzdové kotouče jsou umístěny na každém kole z dvojkolí. Vyrábí se i ve verzi s dieselovým motorem.

Tabulka 1 - Siemens Vectron charakteristiky

[https://en.wikipedia.org/wiki/Vectron_\(locomotive\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Vectron_(locomotive))

Charakteristiky			
Výkon	5,2 nebo 6,4 MW	Rychlost max.	160 nebo 200 km/h
Napájecí soustavy	1,5 a 3 kV DC, 16,7 a 25 kV AC	Hmotnost	87 tun
Délka	18 980 mm	Výška s pantografem	4 248 mm
Šířka	3 012 mm	Vzdálenost čepů podvozků	7 600 mm
Rozvor podvozků	2 400 mm	Průměr kol	1 250 mm

G.2. Bombardier Traxx



Obrázek 23 - Bombardier TRAXX

www.railcolor.net

Rodina lokomotiv TRAXX výrobce Bombardier je nejrozšířenější typ lokomotivy na světě. Rám lokomotivy je svařovaný samonosný tvořený třemi podélníky a čtyřmi příčnický, dva pro transformátor a dva v ose podvozků, bočnice je tvořena plechy a profily. Střecha je tvořena třemi moduly a je odnímatelná. Stanoviště lokomotivy je postaveno z ocelových profilů. Podvozek je tvořen dvěma podélníky, čelníky a středním příčnickem, s pohonem přes dutý kloubový hřídel na kolo nápravy. Přenos tažných sil z podvozků na rám je zprostředkován pomocí tažné tyče.

Tabulka 2 - Bombardier TRAXX charakteristiky

<https://en.wikipedia.org/wiki/TRAXX>

Charakteristiky			
Výkon	5,6 MW	Rychlost max.	200 km/h
Napájecí soustavy	3 kV DC, 16,7 a 25 kV AC	Hmotnost	88 tun
Délka	18 900 mm	Výška s pantografem	4 283 mm
Šířka	2 977 mm	Vzdálenost čepů podvozků	10 440 mm
Rozvor podvozků	2 600 mm	Průměr kol	1 250 mm

G.3. Pesa Gama



Obrázek 24 - Pesa Gama

www.schlickewitz.flog.pl

V roce 2012 na veletrhu Innotrans představil polský výrobce Pesa novou řadu lokomotiv Gama, která je modulární a univerzální. Vyprojektované jsou různé verze – elektrická, dieselová i elektrická s malým pomocným dieselagregátem. Skelet lokomotivy je vyroben z vysokopevnostní oceli, bočnice a střechy jsou z hliníkových profilů a odlitků.

Tabulka 3 - Pesa Gama charakteristiky

https://en.wikipedia.org/wiki/Pesa_Gama

Charakteristiky			
Výkon	5,6 MW	Rychlost max.	200 km/h
Napájecí soustavy	1,5 a 3 kV DC, 16,7 a 25 kV AC	Hmotnost	84 tun
Délka	19 800 mm	Výška s pantografem	-
Šířka	3 000 mm	Vzdálenost čepů podvozků	-
Rozvor podvozků	-	Průměr kol	-

G.4. Newag Griffin



Obrázek 25 - Newag Griffin

<http://www.newag.pl>

Od roku 2012 vyrábí polská firma Newag rodinu lokomotiv Griffin, stroje této řady jsou použitelné jak pro nákladní, tak osobní dopravu. Rám lokomotivy je samonosný a bočnice je tvořena příhradovou konstrukcí, střecha má tři snadno odnímatelné díly, kabinové moduly mají deformační zóny podle nejnovějších požadavků. Podvozek je svařovaný, uzavřený rámové konstrukce.

Tabulka 4 - Newag Griffin charakteristiky

https://pl.wikipedia.org/wiki/Newag_Griffin

Charakteristiky			
Výkon	5,6 MW	Rychlost max.	200 km/h
Napájecí soustavy	3 kV DC, 16,7 a 25 kV AC	Hmotnost	88 tun
Délka	19 900 mm	Výška s pantografem	-
Šířka	3 000 mm	Vzdálenost čepů podvozků	-
Rozvor podvozků	-	Průměr kol	-

G.5. Škoda 109e



Obrázek 26 - Škoda 109e1 Emil Zátopek

www.zelpage.cz

Nejnovější lokomotiva fy. Škoda Transportation, konstrukčně vychází z prototypu Škoda 85e0, avšak jsou na ní použity nejmodernější prvky požívané pro kolejová vozidla. V současné době je v provozu 20 lokomotiv typu 109e0 a 109e1 u Českých drah, dvě lokomotivy 109e2 u Push-pull souprav ZSSK a nyní je ve výrobě 6 lokomotiv 109e3 u DB pro projekt NIM. Hlavní rám lokomotivy má čtyři podélníky a dva příčné pro podvozkové čepy, které přenáší trakční síly z podvozků na lokomotivu. Trakční motor je upevněn na rámu podvozku a výkon z nich je přenášen jednostupňovou převodovkou na dutou hřídel dvojkolí, kterou obepíná trubka z kompozitních materiálů (u 109e3 z oceli). Hliníkové (u 109e3 ocelové) brzdové kotouče jsou umístěny na každém kole a brzdové jednotky jsou vždy na krajích každého podvozkového rámu. Trakční transformátor je umístěn mezi podvozky, baterie v rámu a písečníky ve sloupech za kabinou (u 109e3 na kabinovém modulu u nárazníků), střecha lokomotivy je třídílná a svařovaná z hliníkových profilů a plechů.

Tabulka 5 - Škoda 109e charakteristiky

www.skoda.cz

Charakteristiky			
Výkon	7,2 MW	Rychlost max.	160 nebo 200 km/h
Napájecí soustavy	3 kV DC, 16,7 a 25 kV AC	Hmotnost	88,2 tun
Délka	18 000 mm	Výška	3 905 mm
Šířka	3 080 mm	Vzdálenost čepů podvozků	8 700 mm
Rozvor podvozků	2 500 mm	Průměr kol	1 250 mm

H. SHRUTÍ ZE ZÍSKANÝCH MATERIÁLŮ

H.1. Hrubé stavby

H.1.1. Siemens Vectron



Obrázek 27 - Siemens Vectron hrubá stavba

www.flickr.com

Hrubá stavba má bočnici tvořenou vaznicí z obdélníkového profilu, podélné výztuhy jsou tvořeny L-profilu a svislá žebra z ocelových plechů. Vnější krytí strojovny je z ocelového plechu, bočnice tedy odpovídá konstrukci diferenciální stavby. Nárazníky a nárazecí ústrojí jsou namontovány přímo na hlavní rám. Přechod mezi strojovnou a kabinovým modulem je tvořen ocelovou mezistěnou a stanovištěm strojvedoucího. Střešní moduly podpírají dva mosty mezi bočnicemi.

H.1.2. Bombardier TRAXX

Z fotografií lokomotiv rodiny TRAXX jsou vidět dvě různá provedení bočnic: s rovným oplechováním a se svislými prolisy. Starší typ bočnice zevnitř vypadá jako diferenciální stavba se sloupky s podélnými profily. U posledního provedení nejnovějších lokomotiv TRAXX je bočnice tvořena pouze plechem se svislým prolisem, který nese střešní moduly. Tato konstrukce je kvůli aerodynamice zakryta rámem, do kterého je možno umístit panely s logem dopravce. Tento rám je umístěn na panty. Střecha je tvořena třemi střešními moduly, které podpírají dva mosty. Přechod mezi kabinou a zbytkem hrubé stavby je podobný jako u lokomotivy Vectron.



Obrázek 28 - Bombardier TRAXX hrubá stavba

Google Obrázky: Bombardier TRAXX

H.1.3. Pesa Gama

Bočnice lokomotivy Gama je tvořena příhradovou konstrukcí zakrytou 9 panely, v oplechování jsou různé otvory pro chlazení výzbroje. V kabinovém modulu je použit jako deformační prvek materiál s honeycomb strukturou. Zakrytí kabinového modulu je provedeno z laminátu, kostra modulu je ocelová. Střešní moduly jsou tři a jsou podepřány dvěma mosty.



Obrázek 29 - Pesa Gama hrubá stavba

Google Obrázky: Pesa Gama

H.1.4. Newag Griffin

Lokomotiva Griffin má bočnici tvořenou sloupky, podélnými profily a vnějším oplechováním. Před dveřmi do kabiny jsou na obou bočnicích žaluzie pro chlazení. Střecha je tvořena třemi moduly, které podpírají dva mosty. Zakrytí kabinového modulu je tvořeno laminátem, kostra je ocelová.

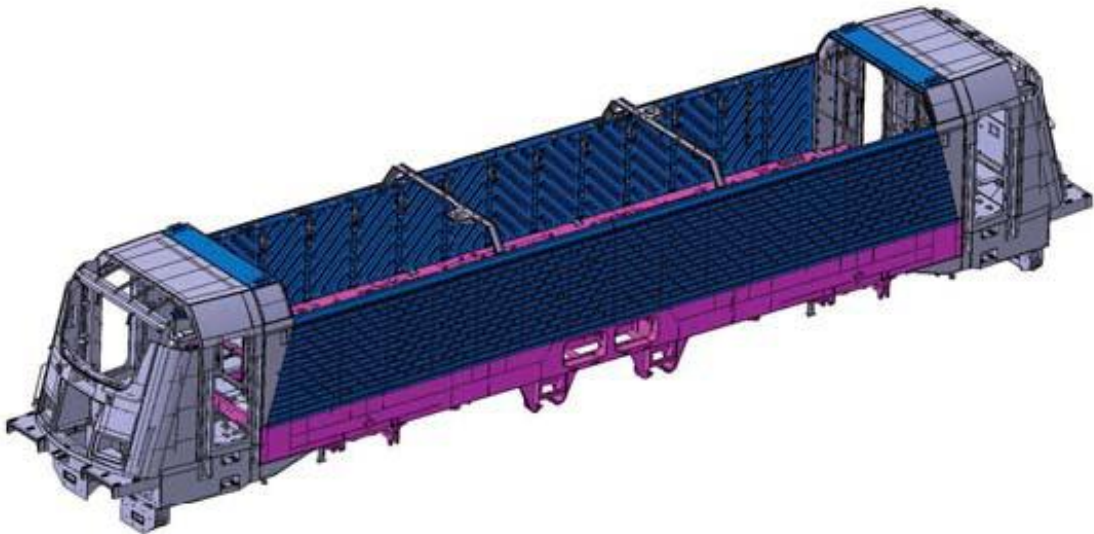


Obrázek 30 - Newag Griffin hrubá stavba

<http://www.newag.pl>

H.1.1.5. Škoda 109e

Hrubá stavba lokomotivy 109e je celá vyrobená z oceli S355, pouze mezistěna je z oceli S500. Hlavní rám je tvořen čtyřmi podélníky a čtyřmi příčnicí, bočnice je zvenčí tvořena podélně prolisovanými plechy. Zevnitř je bočnice tvořena sloupky a diagonálně signovanými plechy, vršek bočnice tvoří vaznice. Bočnice spojují dva mosty. Kabinový modul zároveň nese i spojovací zařízení a obsahuje deformační zóny pro pasivní bezpečnost při případné kolizi.



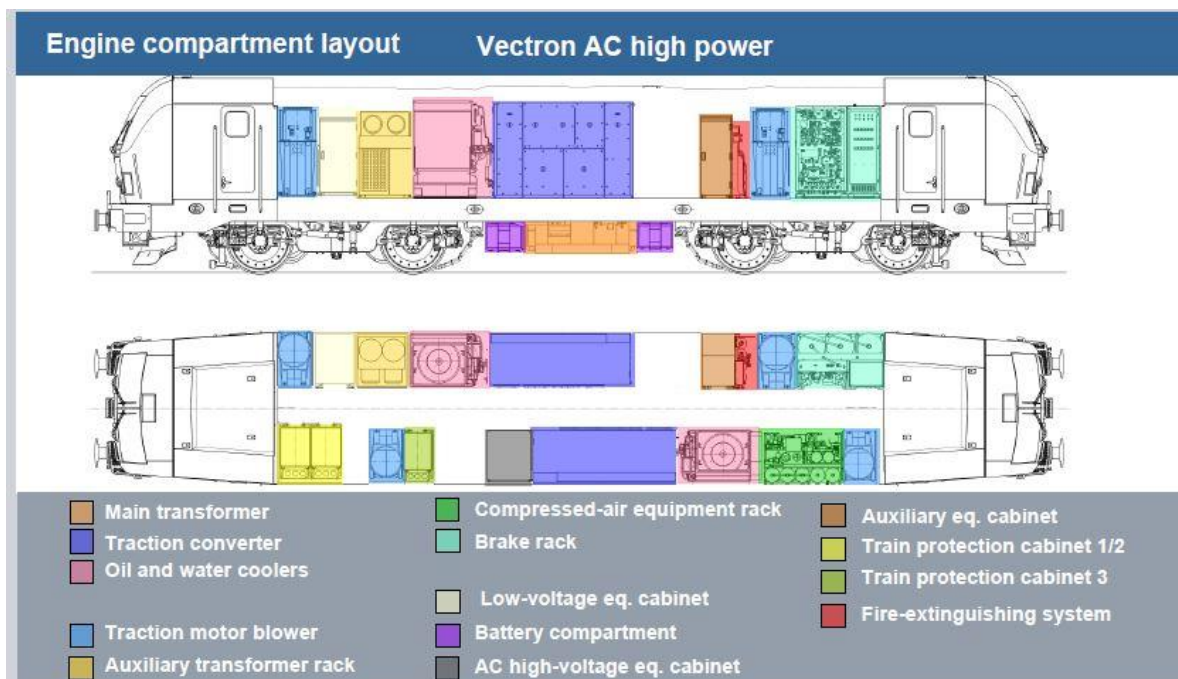
Obrázek 31 - Škoda 109e hrubá stavba

www.109-e.wgz.cz

H.2. Strojovny a další vybavení

H.2.1. Siemens Vectron

Strojovna má jednu střední uličku, veškeré vybavení kromě trakčního transformátoru a baterií, které jsou umístěny po stranách transformátoru, je umístěno ve strojovně. Lokomotiva má písečníky nad každým dvojkolím.

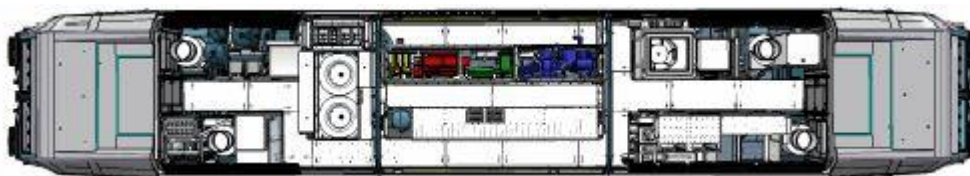


Obrázek 32 - Siemens Vectron strojovna

www.mobility.siemens.com

H.2.2. Bombardier TRAXX

Strojovna má lomenou uličku, trakční transformátor je umístěn dole pod rámem a je nesen dvěma příčníky. Každé dvojkolí má svůj vlastní písečník.



Obrázek 33 - Bombardier TRAXX strojovna

www.bombardier.com/transportation

H.2.3. Pesa Gama

Strojovna lokomotivy má jednu podélnou střední uličku a je na rozdíl od ostatních lokomotiv vybavena palubní toaletou. Lokomotiva má trakční transformátor umístěn mezi podvozky pod rámem a nad každým dvojkolím je umístěn písečník.

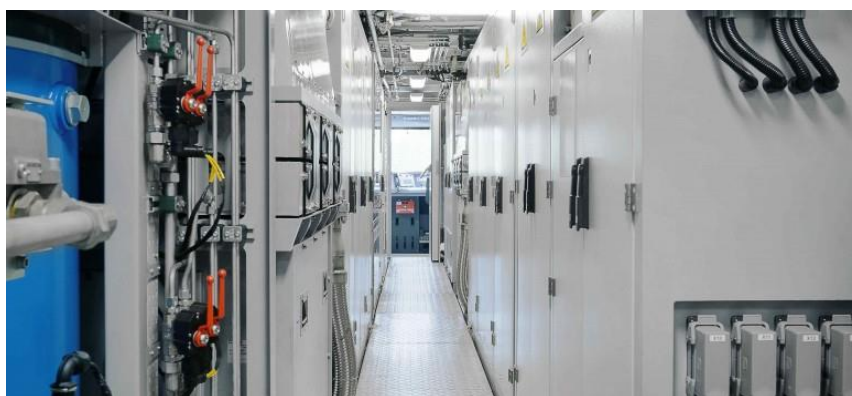


Obrázek 34 - Pesa Gama strojovna

Google Obrázky: Pesa Gama

H.2.4. Newag Griffin

Strojovna má střední uličku, pod rámem jsou umístěny baterie a trakční transformátor. Písečníky jsou nad každým dvojkolím.

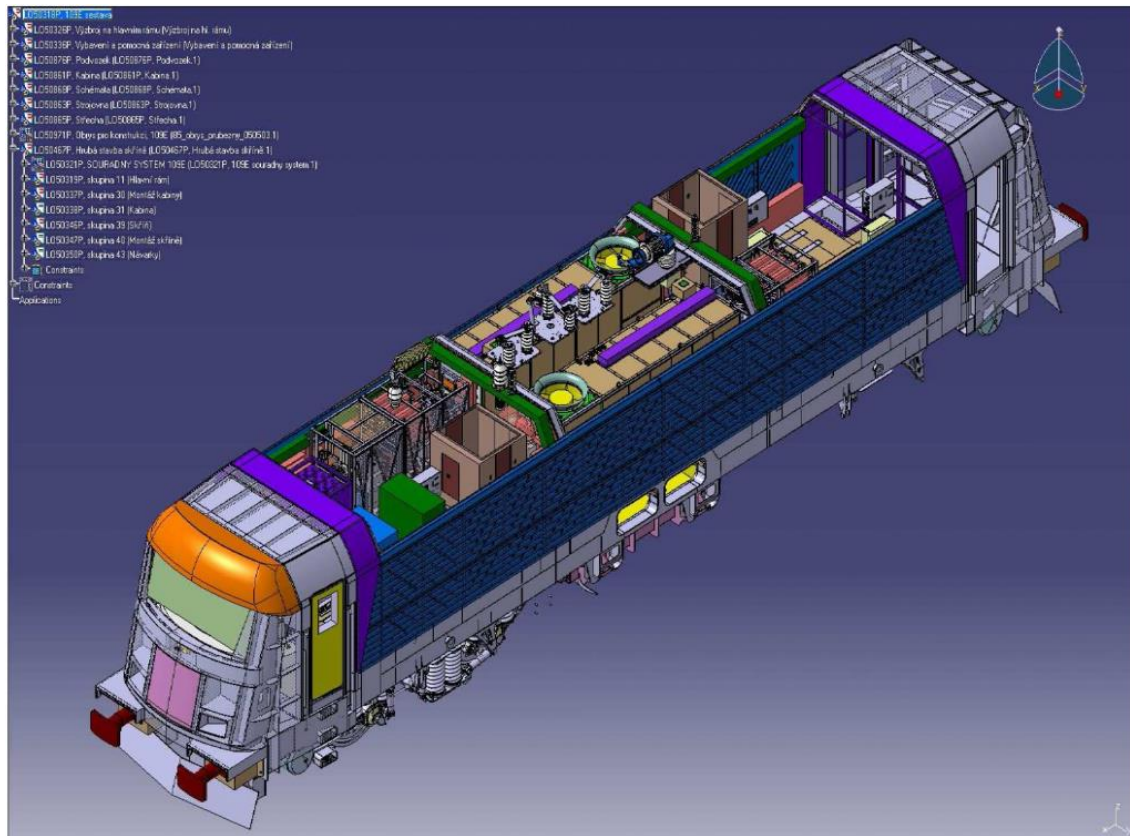


Obrázek 35 - Newag Griffin Strojovna

<http://www.newag.pl>

H.2.5. Škoda 109e

Lokomotiva 109e má strojovnu rozdělenou na dvě poloviny střední uličkou. Každá polovina obsahuje trakční výzbroj vždy pro jeden podvozek. Největší součástí trakční výzbroje jsou trakční transformátory od firmy ABB o váze 13 500 kg a dva trakční měniče od firmy Škoda Electric. Dále strojovna obsahuje pneumatické vybavení (kompresor, brzdič), vlakové zabezpečovače, sloupy chlazení trakčních motorů, brzdové odporníky a další nezbytné vybavení pro jízdu vozidla. Baterie jsou umístěny v bateriových otvorech podélníku rámu.

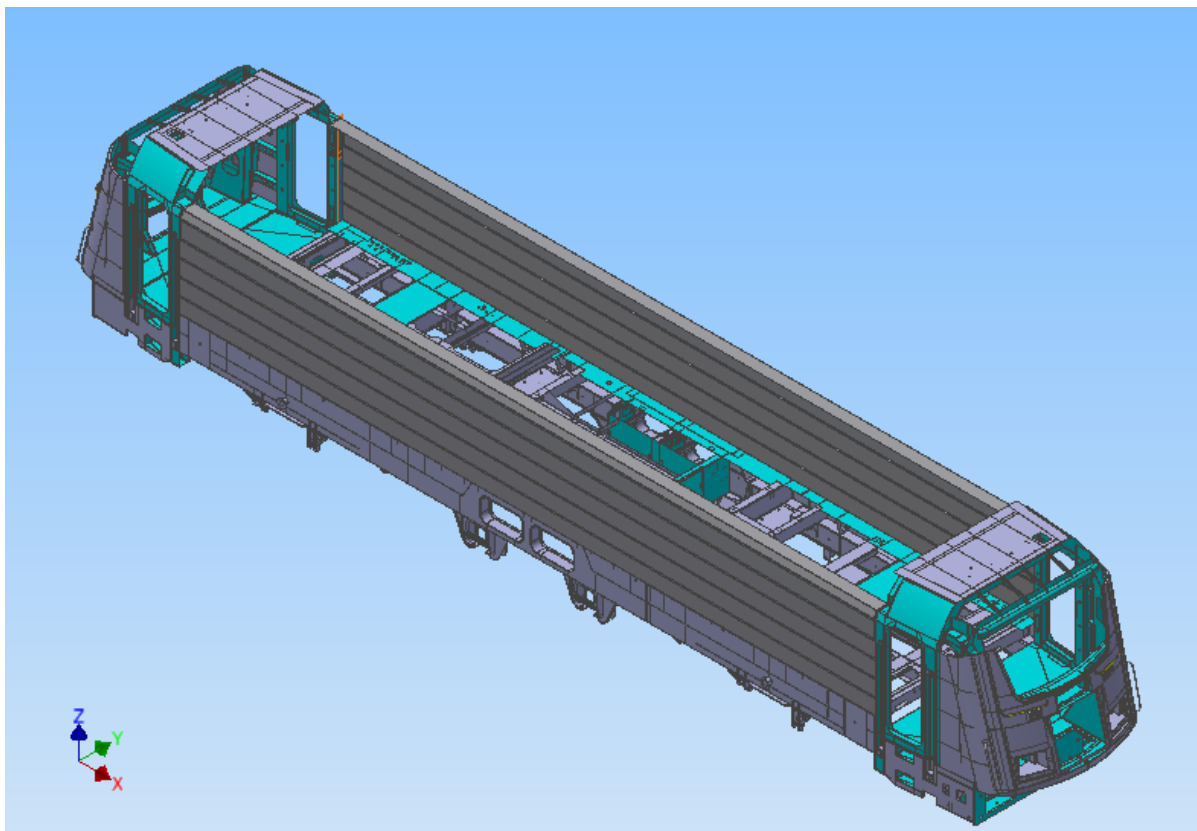


Obrázek 36 - Škoda 109e strojovna

www.109-e.wgz.cz

I. HRUBÉ STAVBY - VLASTNÍ NÁVRHOVÁ ČÁST

Návrh hrubých staveb byl započat u jednoduchých modelů z ohýbaných plechů, kde bylo postupně upraveno napojení na zbytek hrubé stavby. Jednotlivé komponenty byly upravovány tak, aby nebyly náročné na výrobu a byly v případě možnosti z normalizovaných profilů a součástí. Pro předběžné návrhy byly použity analytické metody návrhu, vzpěr u sloupků a ohyb vaznice při její zátěži od hmotnosti střech a střešního vybavení. Poté, co byly určeny základní rozměry, bylo přistoupeno k návrhu konkrétních konstrukčních uzlů. Byla vzata do úvahy varianta, kdy je bočnice tvořena hliníkovými protlačovanými profily. Což je nový návrh, který nebyl zatím použit při reálné konstrukci lokomotivy.¹²



Obrázek 37 - Prvotní návrh ocelové hrubé stavby

¹² Všechny obrázky v následujících kapitolách I,J,K jsou výstupem z programu Autodesk Inventor

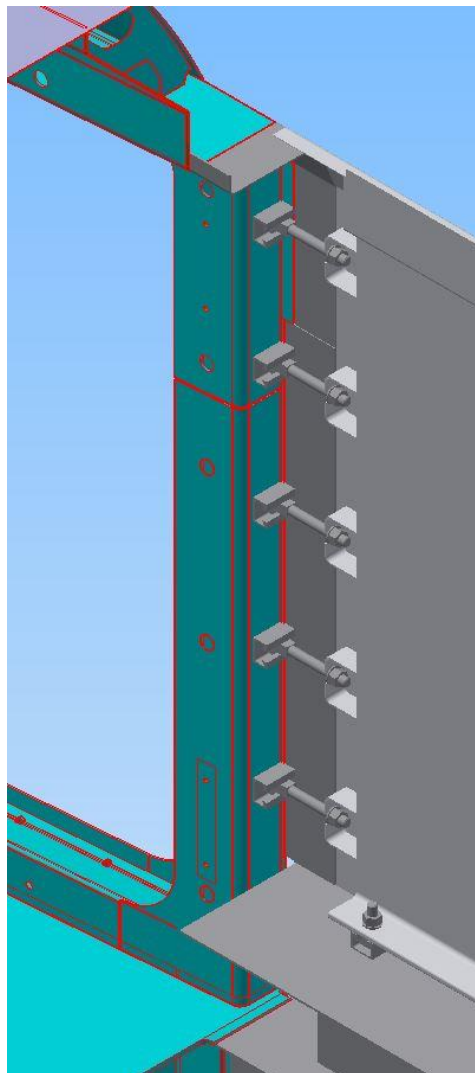
J. HRUBÁ STAVBA – HLINÍKOVÁ BOČNICE

J.1. Prvotní návrhy

V prvotních variantách bylo hlavně řešeno napojení bočnice na kabinový modul a připojení mostu z důvodu použití různých materiálů, které ve spojení na sebe korodují (uhlíková ocel-hliník).

J.1.1. První návrh spojení kabiny s bočnicí

Bylo uvažováno šroubové spojení přes C-drážku, která byla navařena na sloupek kabinového modulu a na bočnici byl navařen profil tvaru U, do kterého zapadl kámen se závitem. Zašroubováním by došlo ke spojení bočnice a kabiny. Tento návrh byl zamítnut panem Brodským z důvodu pracnosti a obav z malé únosnosti spoje, kdy všechny síly přenáší závit kamene.

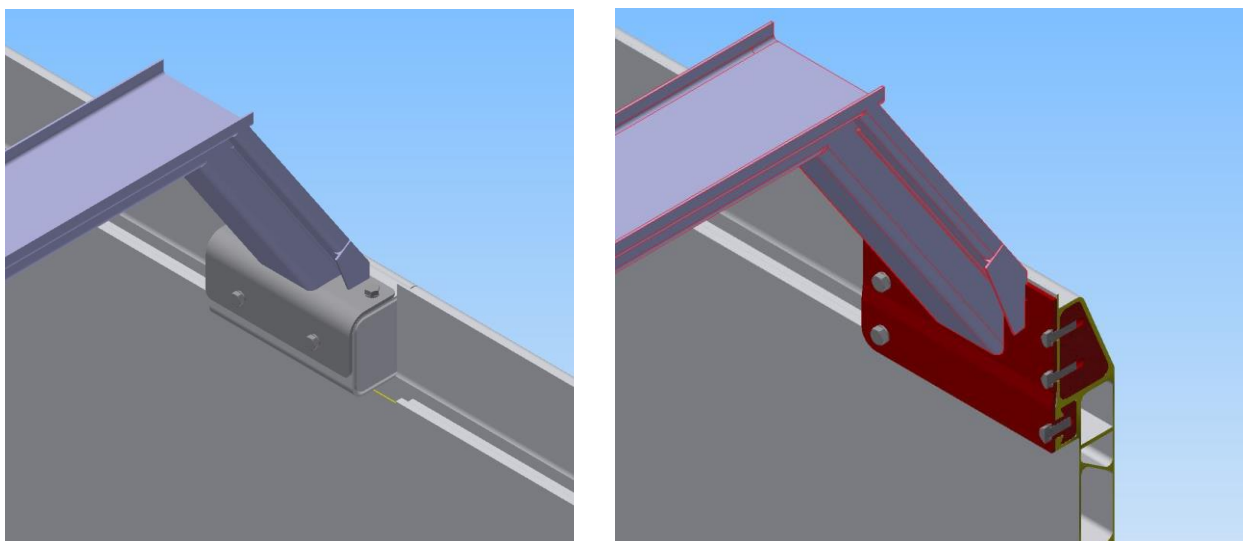


Obrázek 38 - Původní návrh spojení kabiny a bočnice

J.1.2. Návrhy spojení mostu a bočnice

Další konstrukční uzel, který bylo nutno vyřešit, byl spoj most-bočnice. První návrh byl takový, že v místě spoje se mezi profily bočnice vloží rozšířený profil, který bude mít zevnitř kámen z nerezové oceli. Na tuto vložku se přiloží most s přírubou upravenou tak, aby pasovala na rozšířený profil a přišroubovala se do kamene uvnitř profilu. Tato možnost byla zamítnuta panem Brodským a projektanty firmy Škoda z důvodu pracnosti a zbytečného rozšiřování bočnice do prostoru strojovny. Dále je lepší zachovat hladký profil bočnice z pohledové strany.

Bylo tedy přistoupeno na použití pouze vertikální příruby s využitím podélné C-drážky. Spojení bylo podobné jako v předchozím návrhu, avšak profil už nezasahoval do strojovny. Nyní by spoj profilů bočnice byl přesně v místě napojení mostu. Tento návrh byl zamítnut panem Brodským, protože kámen by se špatně vkládal do bočnice, která by následně byla zavařena, a není tím zaručena požadovaná poloha kamene.



Obrázek 39 - Původní návrhy napojení mostu na bočnice

J.2. Popis návrhu hrubé stavby

J.2.1. Hlavní rám

Hlavní rám vychází z rámu lokomotivy 109e3, pouze je za bateriovým prostorem zvětšen o 500 mm do obou stran. Tím došlo k zvětšení vzdálenosti otočných čepů na 9 700 mm.

J.2.2. Kabinový modul

Kabinový modul je použitý stejný jako na lokomotivě 109e3.



J.2.3. Mezistěna

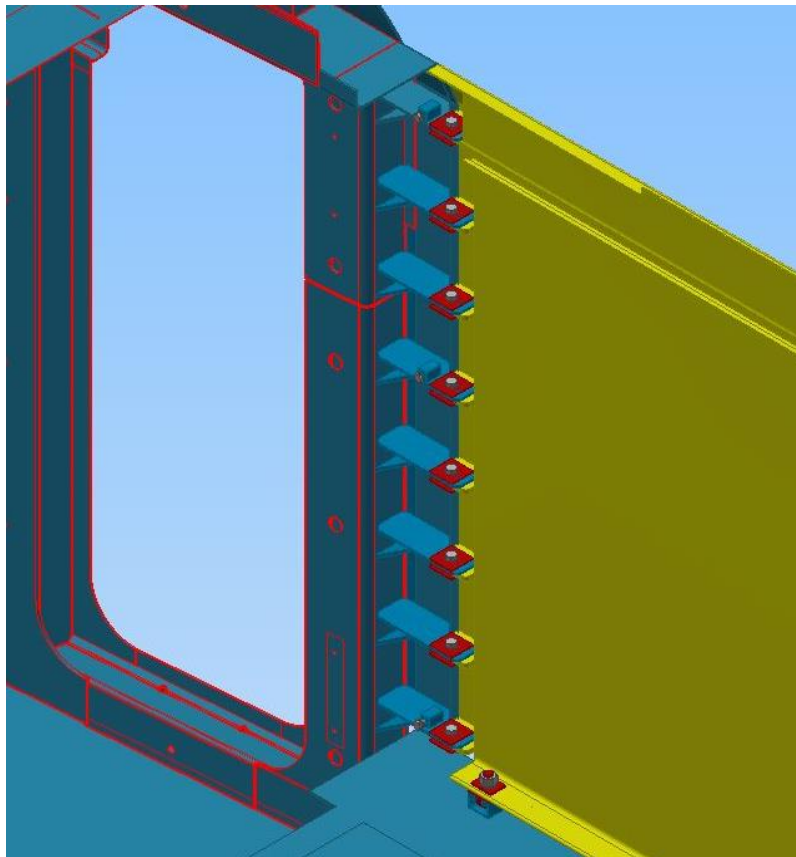
Mezistěna je pro tento návrh tvořena příčkami z normalizovaných L-profilů, je možné ji podle potřeby upravit. Pro vlastní výpočet je však nutné ji zachovat, jelikož mezistěna nese přechod z kabinového modulu na střechem.

J.2.4. Bočnice

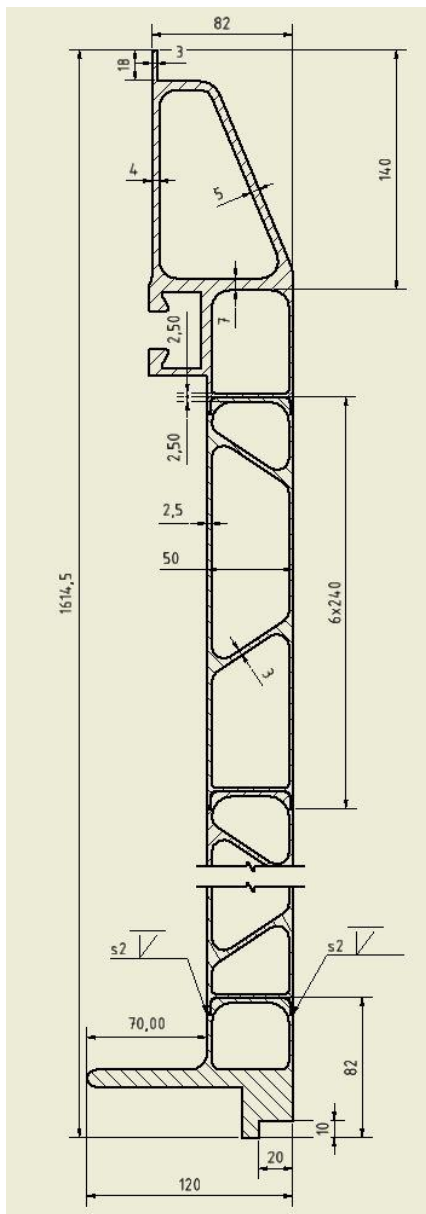
Bočnice je tvořena modulem svařeným z 8 protlačovaných hliníkových profilů. Na přechodu bočnice-střecha je zachován břit, který slouží jako těsnění. V místě přechodu bočnice-hlavní rám, bočnice-kabinový modul je připraveno místo pro zatmelení spáry. Přenos sil z kabinového modulu na bočnici je tvořen 8 zámků, které jsou spojeny šroubovým spojem. Tvarem drážek v obou zámcích je umožněn pohyb a nastavení přesné polohy bočnice vůči zbytku hrubé stavby. Ke hlavnímu rámu je bočnice připevněna pomocí 11 C-drážek, tvary děr v bočnici i umístění drážek umožňuje nastavení bočnice a vyrovnání nepřesností. Bočnice je z obou stran zakryta navařeným plechem. Prostor mezi přechodem kabina-střecha a bočnicí je tmelen a tím je utěsněn. Materiál bočnice je opatřen antikoročním nátěrem a mezi součástmi z uhlíkové oceli jsou podložky z nerezové oceli. Profily mají délku 13 100 mm, rozdělení na jednotlivé prvky bylo dle přesnosti technologie. Po konzultaci s firmou Constelium by bylo možné profily vyrobít v celé délce s přesností na 1 mm/délku. Svařování profilů do bočnice by bylo prováděno na automatech, podobně jako se nyní svařují hrubé stavby ve společnosti Škoda Vagónka, případně Pars Šumperk. Hmotnost bočnice je **592 kg**.

J.2.5. Montáž bočnice

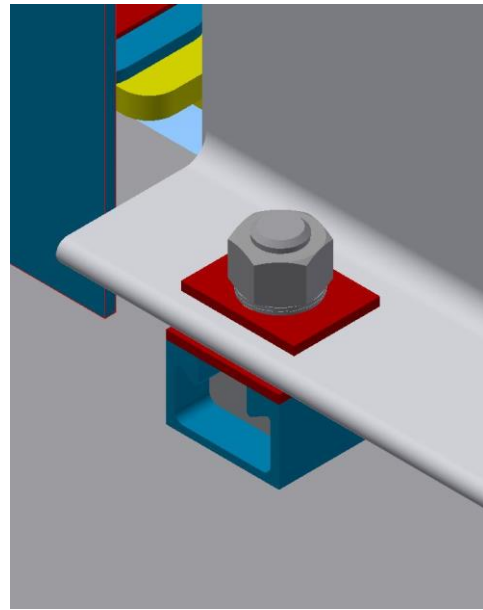
Montáž do hrubé stavby je navržena tak, že se nejdříve spojí kabiny s hrubou stavbou, následně se navaří všechny připojovací prvky (C-drážky a zámky) a poté se bočnice na jeřábu nasune z boku mezi kabinové moduly. Na bočnici musí již být připraveny kameny do C-drážek, které se při ustavování musí zasadit do drážek. Po ustavení se vloží šrouby do zámků, které bočnici spojují s kabinovým modulem. Následně se bočnice přesně ustaví tak, aby nepřesahovala rovinu určenou podélníkem hlavního rámu a bočními plochami kabiny. Všechny šrouby se utáhnou na předepsaný moment. Všechny spáry se následně zatmelí, případně se zahladí nerovnosti.



Obrázek 40 - Napojení bočnice na kabinový modul



Obrázek 41 - Řez profilu bočnice



Obrázek 42 - Napojení bočnice na hlavní rám

J.2.6. Mosty v konečném návrhu

Mosty jsou nyní připevněny přes šroubový spoj. Na bočnici je navařena deska s návarky, do kterých je umístěna Helicoil vložka M12x1. V průběžné C-drážce jsou umístěny nerezové kameny se stejným závitem. Pro vyrovnání plochy pro přírubu mostu jsou použity různé velké plošné podložky a desky z nerezové oceli.

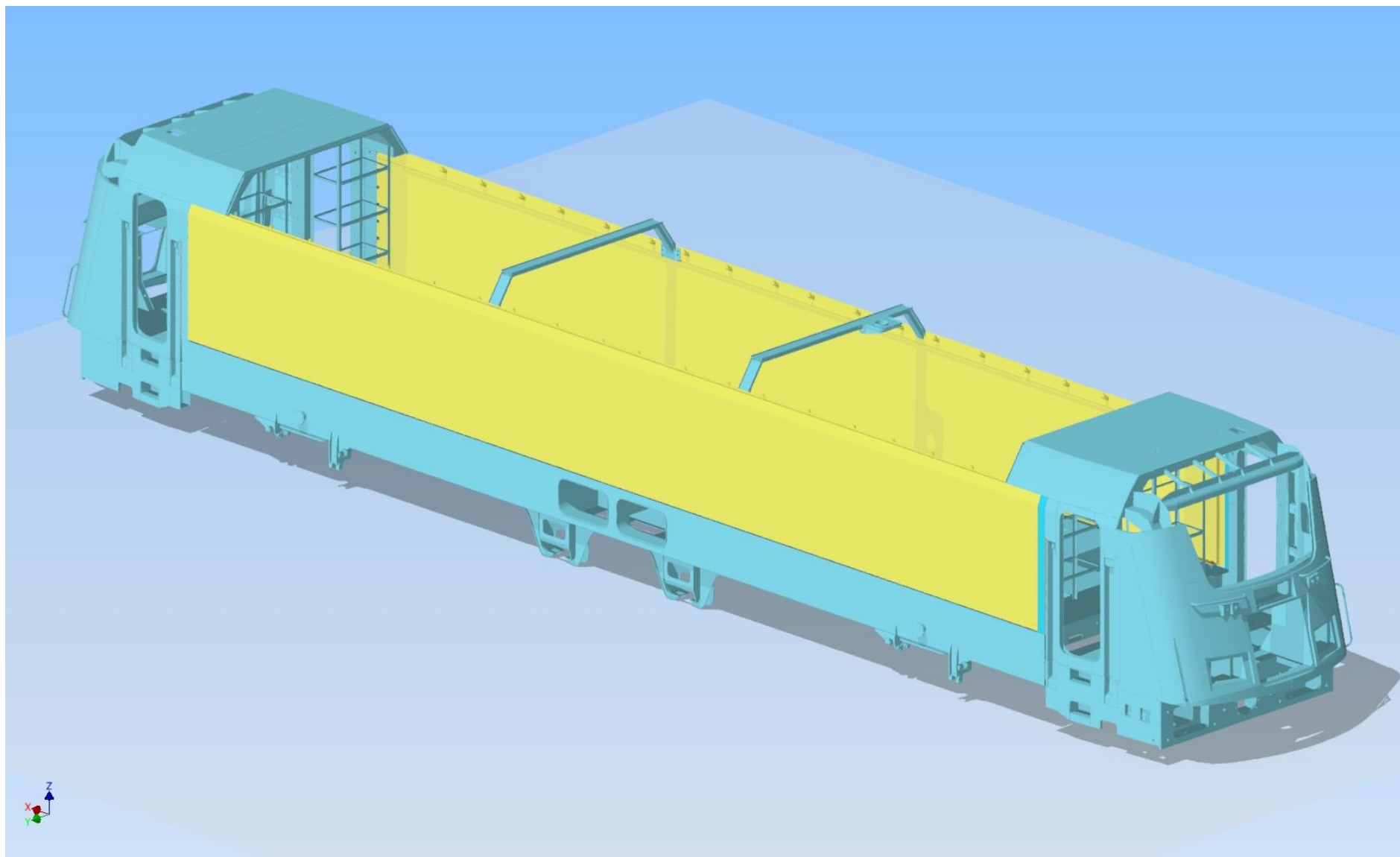
J.3. Navržené materiály pro hrubou stavbu

- Materiál bočnice:
 - Protlačované profily ze slitiny EN AW 6061
 - Zámky – Plech 10 mm – slitina EN AW 6061
 - Překryt – Plech 3 mm - EN AW 6061
- Ostatní části z uhlíkové oceli
 - Ocel S355J2 (materiálové vlastnosti viz. ocelová bočnice a příloha)
- Nerezové podložky
 - Ocel 1.4301

Tabulka 6 - Mechanické vlastnosti hliníkových slitin

<http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>

Mezinárodní označení	Chemický symbol	Stav	Minimální staticko-mechanické parametry*			
			Mez pevnosti	Mez kluzu	Tažnost	Tvrдость dle Brinella
			R _m [MPa]	R _{p0,2} [MPa]	A ₅ [%]	HBW _{2,5/22,5}
EN AW-1350A	EAl 99,5	H112	65	20	23	18
EN AW-2014	AlCu4SiMg	T6	440	380	6	135
EN AW-2017A	AlCu4MgSi	T4	380	230	10	107
EN AW-2024	AlCu4Mg1	T4	460	300	10	120
EN AW-2618A	AlCu2Mg1,5Ni	T6	380	300	6	105
EN AW-5083	AlMg4,5Mn0,7	H112	270	120	12	65
EN AW-5754	AlMg3	H112	180	80	15	50
EN AW-6401	Al 99,9MgSi	T5/T6	235	185	14	70
EN AW-6060/6063	AlMgSi/AlMg0,7Si	T5/T6	245	195	10	75
EN AW-6005A	AlSiMg	T5/T6	280	235	8	80
EN AW-6061	AlMg1SiCu	T5/T6	290	250	9	85

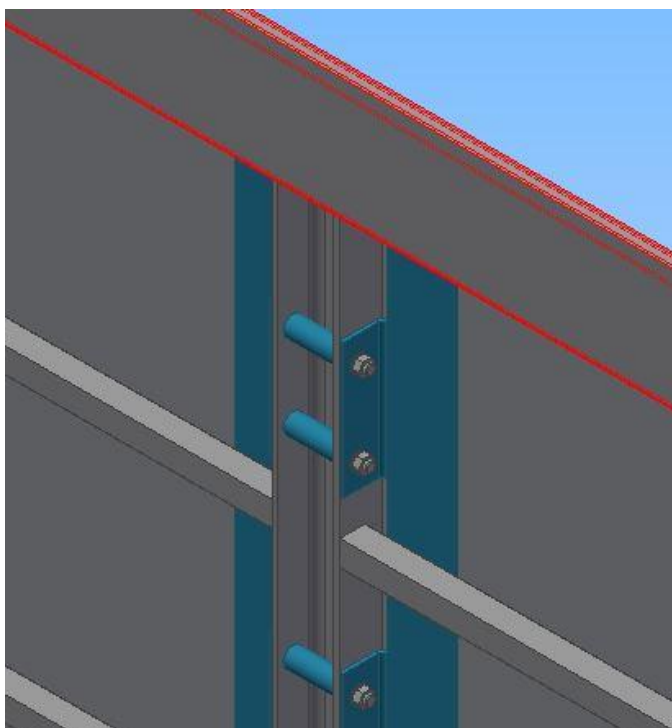


Obrázek 43 - Hrubá stavba s hliníkovou bočnicí

K. HRUBÁ STAVBA – OCELOVÁ BOČNICE

K.1. Prvotní návrhy

Provedení bočnice bylo od začátku navrhováno jako rámová konstrukce s vnějším oplechováním pomocí velkých tabulí plechu. Bylo však nutné vyřešit připevnění plechů k zbytku hrubé stavby. Původně bylo uvažováno bodové připojení plechů ke sloupkům, rámu a kabině. Tento způsob by byl nejjednodušší z hlediska výroby, avšak tepelné ovlivnění tabulí svarem by vedlo k nežádoucím deformacím v místě svaru a k následné nutnosti tato místa tmelit a zarovnávat. Proto bylo zvažováno nalepit na tabule úchyty, které by se následně navařily, nebo přišroubovaly ke sloupkům. Z důvodů náchylnosti lepených spojů na vysoké teploty vznikajíc při svařování bylo rozhodnuto použít šroubové spoje. Po konzultaci s projektanty ve společnosti Škoda Transportation a.s. bylo následně doporučeno zvětšit styčnou plochu mezi tabulemi a zbytkem hrubé stavby a na tyto plochy nanést lepidlo. Tabule jsou proti pádu při selhání lepeného spoje zajištěny odporově přivařenými závitmi, které se pomocí matice přitáhnou k výztuhám v bočnici. Tím je tepelné ovlivnění a deformace tvaru tabule minimální a lze ji lehce upravit.



Obrázek 44 - Původní připojení plechů na sloupky

K.2. Popis návrhu hrubé stavby

K.2.1. Hlavní rám

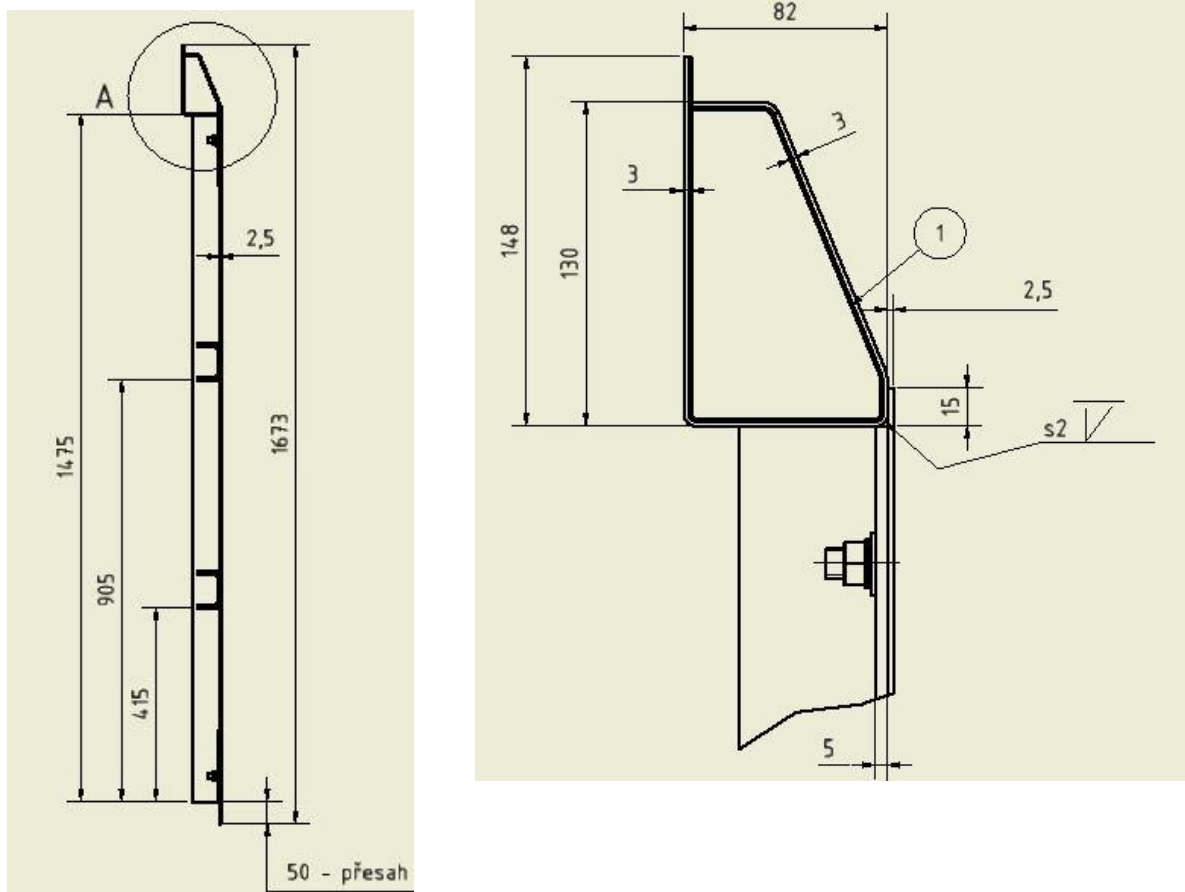
Hlavní rám je stejně jako u hrubé stavby s hliníkovou bočnicí prodloužen o 1 000 mm.

K.2.2. Kabinový modul

Kabinový modul je použit stejný jako na lokomotivě 109e3.

K.2.3. Bočnice

Bočnice je tvořena vaznicí, která vychází z typu 109e3, pouze je protažena až ke sloupku kabinového modulu z důvodu vynechání sloupu bývalého písečníku. Mezi vaznicí a rámem je navařeno 11 sloupků z ocelových U-profilů, podélně je bočnice tvořena dvěma řadami U-profilů, které jsou navařeny na sloupek kabinového modulu. V rozích spoje vertikálních sloupků s hlavním rámem nebo vaznicí jsou trojúhelníkové výztuhy s dírou pro jistící šroub. Bočnice je oplechována 7 tabulemi - 5 většími a 2 menšími. Tabule jsou k rámové konstrukci přilepeny, pouze v rozích jsou navařeny závit, které slouží jako pojistka při selhání lepeného spoje. Tyto závitky projdou dírou v deskách zavětrování rámu. Šroubový spoj je pojištěn podložkou Nord Lock. Hmotnost bočnice je **904 kg**.



Obrázek 45 - Řez bočnicí a detail vaznice

K.2.4. Mosty

Mosty jsou proti hrubé stavbě s hliníkovou bočnicí nezměněny a k vaznici jsou přivařeny.



K.2.5. Mezistěna

Mezistěna je řešena stejně jako u předchozí stavby, případně by se změnila podle potřeby přesnější konstrukce.

K.2.6. Montáž bočnice

Nejdříve se dohromady svaří rám s kabinou, následně se v přípravku svaří dohromady vaznice, vertikální sloupky. Do prostoru mezi nimi se navaří horizontální sloupky a všechny rohové výztuhy, které budou držet pozici už svařených součástí. Následně se bočnice na jeřábu zvedne a uloží do zbytku hrubé stavby, vyrovná se a přivaří. Poté se přivaří horizontální sloupky mezi kabinou a krajními vertikálními sloupky. Dále se dovaří zbylé rohové výztuhy. Na tabule oplechování se odporově přivaří závity. Nyní se všechny styčné plochy pro lepené spoje namažou lepidlem, tabule se přiloží k hrubé stavbě, zajistí se maticemi a pomocí přípravků se přitlačí k hrubé stavbě tak, aby se lepidlo mohlo vytvrdit.

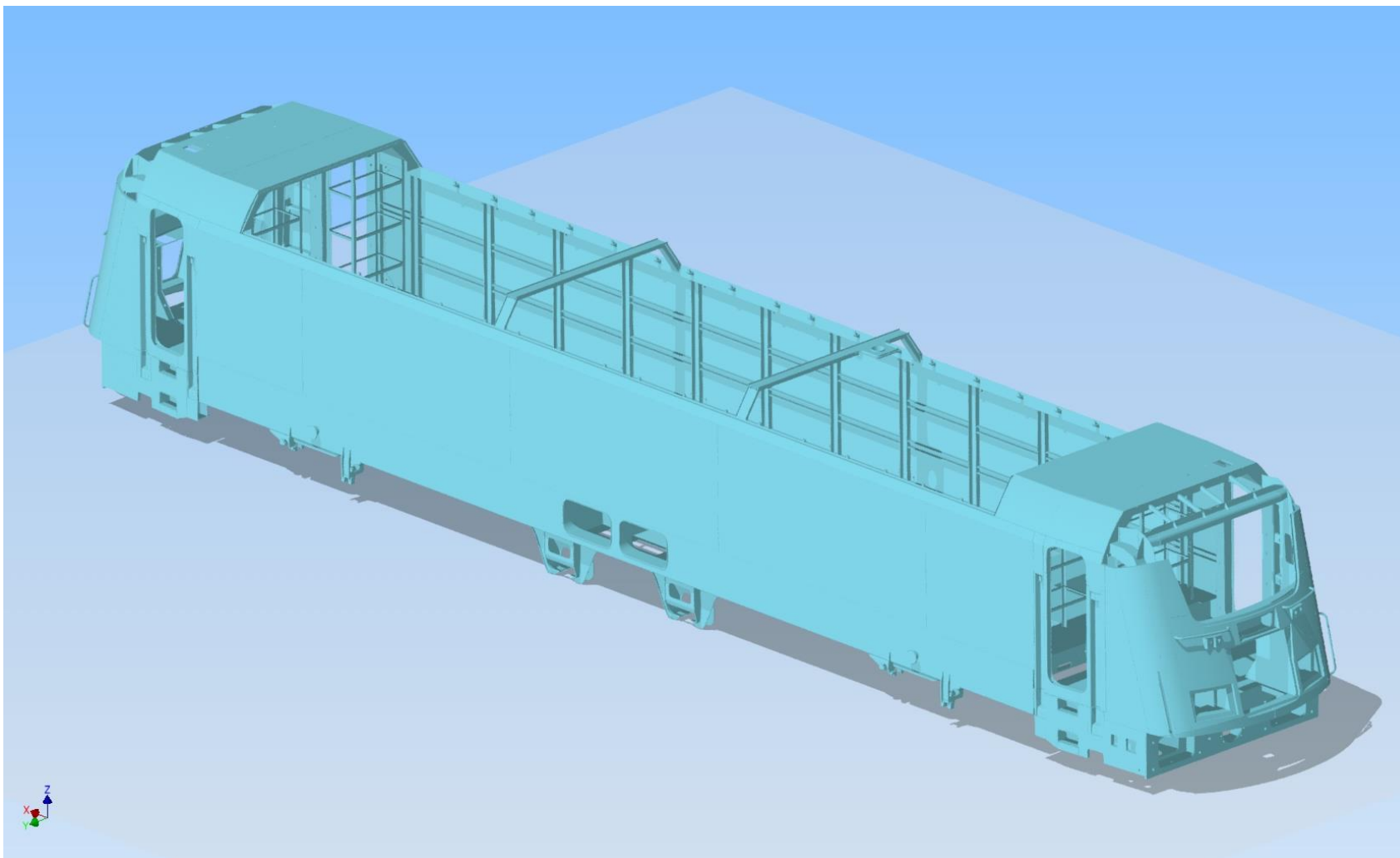
K.3. Navržené materiály a profily pro hrubou stavbu

- Oplechování bočnice – Plech 2,5 mm, 1540-3333mm , S355J2+N
- Vaznice – Plech 3 mm, S355J2+N
- Výztuha- Plech 5 mm, S355J2+N
- Vertikální sloupky – Profil UPE2 U120 – S355J2
- Horizontální sloupky – Profil UPE2 U80 – S355J2
- Matice – Nerezová úprava A2
- Nord Lock – 1.4404

Tabulka 7 - Mechanické vlastnosti oceli S355

www.bolzano.cz/technickapodpora/uhlikovaocel

Přehled vlastností oceli S355J2								1.0577	
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel								
TDP	ČSN EN 10025-2: 2005								
Dřívější označení	S355J2G4 podle EN 10025: 1990 +A1: 1993; St 52-3 N podle DIN 17100; 11 503 podle ČSN								
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn	Si	P	S	N	
	≤ 16	>16≤40	>40 ¹⁾	max.	max.	max.	max.	max.	
Složení hotového výrobku	0,20 ²⁾	0,20 ⁴⁾	0,22	1,60	0,55	0,025	0,025	-	
	0,23 ⁵⁾	0,23 ⁴⁾	0,24	1,70	0,60	0,035	0,035	-	
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R _{eH} MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250	
	355	345	335	325	315	295	285	275	
	Pevnost v tahu R _m MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
	≥3 ≤ 100			> 100 ≤ 150			> 150 ≤ 250		
	470-630			450-600			450-600		
	Minimální tažnost v % (L ₀ = 5.65√S ₀) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm v ⁶⁾ :								
	≥ 3 ≤ 40		> 40 ≤ 63		> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250
	22		21		20		18		17
	Minimální nárazová práce KV (J) při - 20° C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm ^{4), 6)} :								
≤ 150				>150 ≤ 250					
27 ⁶⁾				27 ⁶⁾					



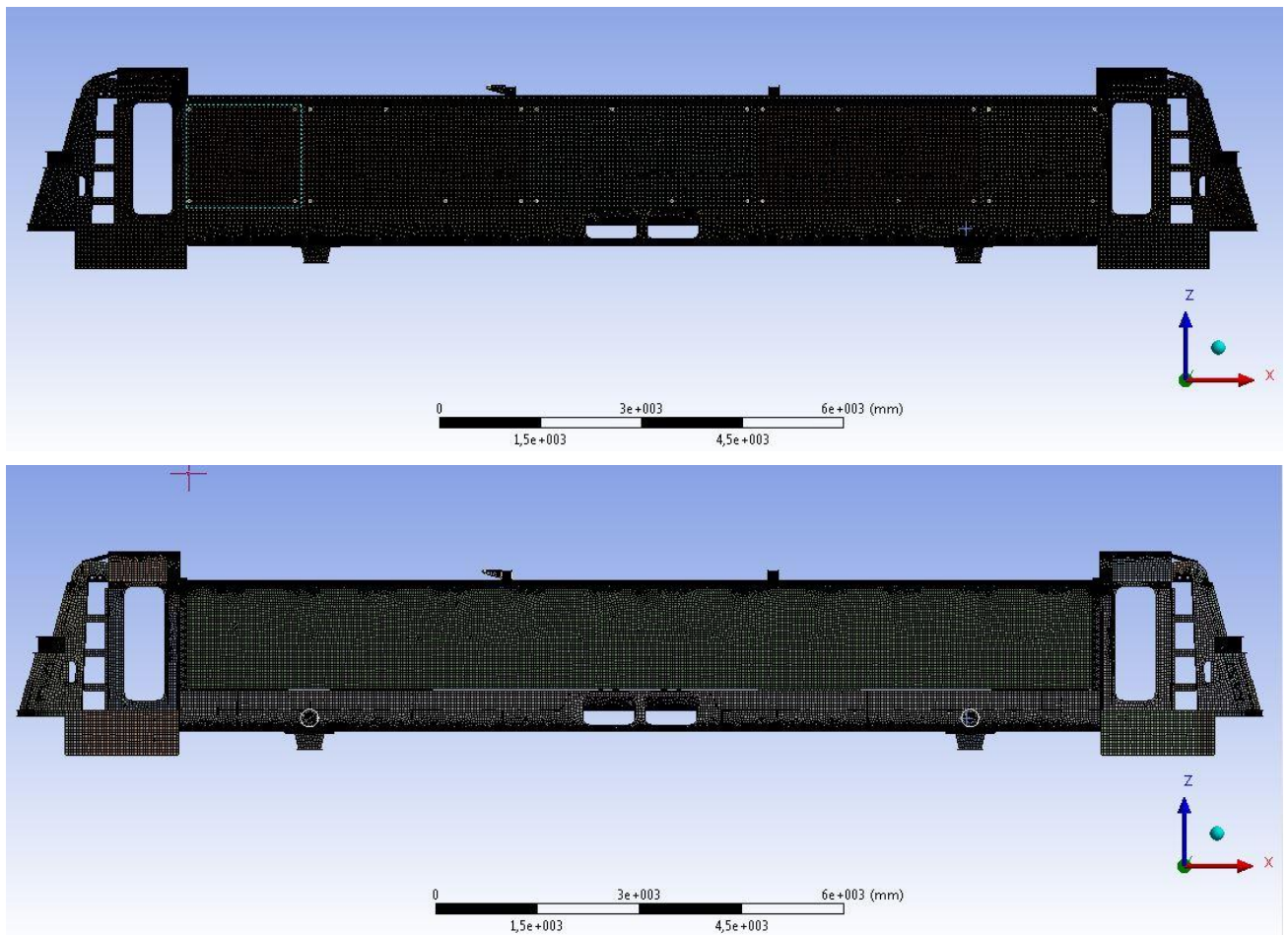
Obrázek 46 - Hrubá stavba s ocelovou bočnicí

L. ZÁVĚR Z NÁVRHOVÉ ČÁSTI

V rámci trainee programu byly vytvořeny dva návrhy hrubých staveb - jedna s hliníkovou bočnicí a druhá s ocelovou bočnicí, oba návrhy by měly nahradit stávající bočnici na lokomotivě 109e3. Hmotnostně vyšla výhodněji varianta z hliníku, která váží 592 kg, což je podobně jako původní bočnice. Tato varianta bude dále v další části práce podrobně zkontrolována. Ocelová konstrukce váží 904 kg a je tedy o 330 kg těžší než současné řešení bočnice z plechů. Tato konstrukce bude v další části práce kontrolována pouze na největší případy namáhání.

Obě varianty byly navrženy s ohledem na vyrobiteľnost a možnosti montáže ve firmě Škoda Transportation a jejich sesterských závodech.

V další části práce bude provedena pevnostní a tuhostní kontrola dle normy EN 12 663:1 2010, která se zabývá pevnostními požadavky na konstrukce skříň kolejevoých vozidel. Vzorem pro kontrolu hrubých staveb je pevnostní výpočet hrubé stavby lokomotivy 109e3, kde je provedena statická, únavová a modální analýza konstrukce.



Obrázek 47 - Hrubé stavby sít'

ANSYS Mechanical 17/vlastní práce

M. PEVNOSTNÍ A TUHOSTNÍ ANALÝZA

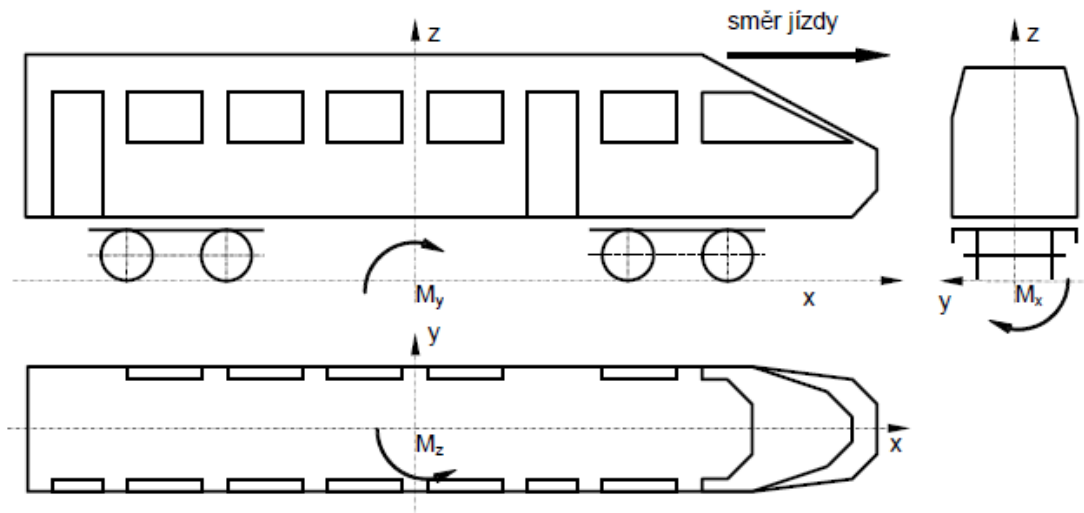
M.1. Úvod

V pevnostní a tuhostní analýze jsou uvedeny výsledky FEM¹³ výpočtů hrubé stavby skříně (HSS). Analýza byla provedena v programu ANSYS Mechanical 17.0, k vytvoření geometrie modelu byly použity programy Autodesk Inventor a ANSYS Design Modeler.

Podle ČSN EN 12 663-1:2010 je lokomotiva zařazena do typu L, ze které plynou požadavky na HSS.

M.2. Parametry pro FEM model

Souřadnicový systém vozidla je zobrazen na obr. 34. Osa „x“ (podélná osa vozidla) je orientována ve směru jízdy, osa „y“ (příčná osa vozidla) je kolmá na osu „x“ a základní rovina „XY“ leží na temeni pomyslné kolejnice. Kladný směr osy „z“ (svislá osa vozidla) směřuje vzhůru. Pohyb v ose „y“ se nazývá vybočování a rotace kolem osy „y“ se nazývá kývání. Pohyb podél osy „z“ se nazývá houpání a rotace kolem osy „z“ se nazývá vrčení. Rotace kolem osy „x“ se nazývá kolébání.



Obrázek 48 - Souřadnicový systém vozidla

Škoda Transportation a.s. – pevnostní výpočet

M.3. Hmotnostní rozbor¹⁴

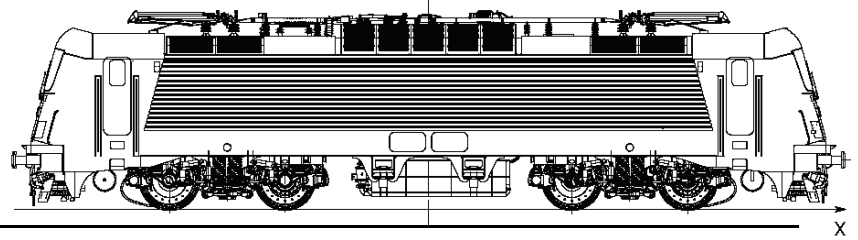
Výpočtová hmotnost vozidla je 90 tun, z toho vychází nápravový tlak 22,5 tuny na každé dvojkolí, což je maximální povolené zatížení na kolejový svršek.

¹³ Finite element method (FEM) – metoda konečných prvků

¹⁴ Vychází z (Doubrava, 2014)

Tabulka 8 - Hmotnostní rozbor vozidla

Škoda Transportation a.s – pevnostní výpočet



Plně vstrojené a vyzbrojené vozidlo

Vozidlo		Lokomotiva			
CELKEM (m_v)	[kg]	90 000			
Hmotnost bez podvozků (m_s)	kg]	57 756			
Podvozek		B		A	
Hm. na podvozek ($m_{s,A}$, $m_{s,B}$)	[kg]	28 994		28 762	
Hm. s vypr. hmot ($m_{svh,A}$, $m_{svh,B}$)	[kg]	617		617	
Hmotnost podvozku (m^+_A , m^+_B)	[kg]	16 122		16 122	
Náprava		B2	B1	A2	A1
Hm. nápravy ($m_{nh,A/2}$, $m_{nh,B/2}$)	[kg]	2 776	2 776	2 776	2 776
Hmotnost na nápravu	[kg]	22 558	22 558	22 442	22 442

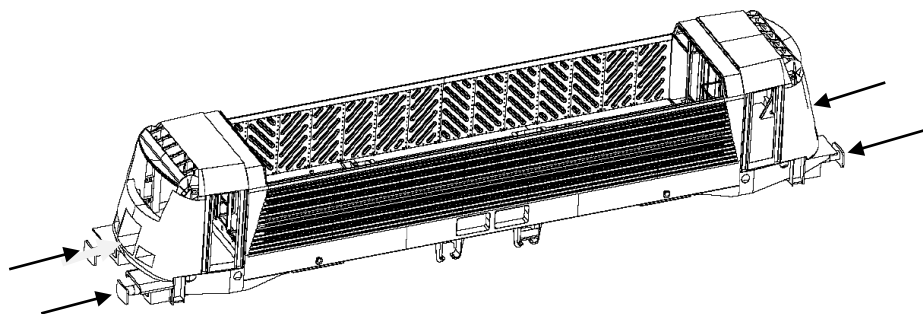
M.4. Zatížení¹⁵

Norma ČSN 12 663-1:2010 definuje zatížení skříně pro kategorii vozidel L:

M.4.1. Podélná statická zatížení skříně vozidla

M.4.1.1. Podélné síly v prostoru nárazníků nebo spřáhel

- Podélná tlaková síla $F = 2\,000\text{ kN}$ působící na nárazníky na obou koncích vozidla¹⁶

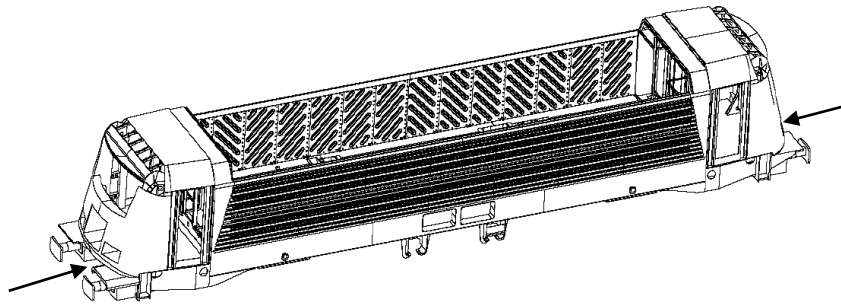


Obrázek 49 - Zatížení tlakovou silou 2 000 kN na nárazníky vozidla

¹⁵ Vychází z (ÚNMZ, 2010), zpracováno podle (Doubrava, 2014)

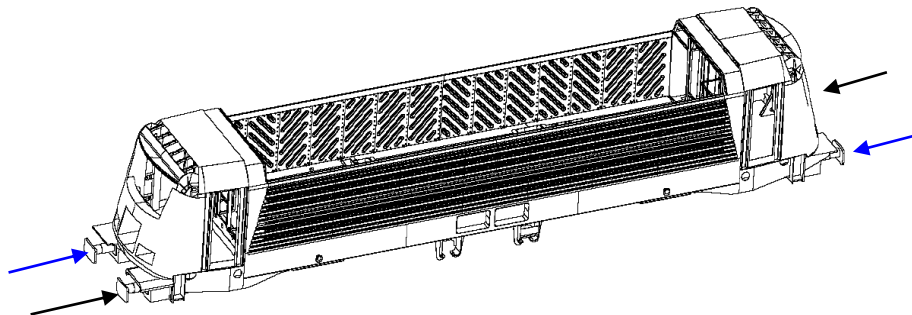
¹⁶ Základ pro obrázky zatížení www.109e-wgz.cz/vlastni_uprava

- Podélná tlaková síla $F = 2\,000\text{ kN}$ působící na spřáhla na obou koncích vozidla



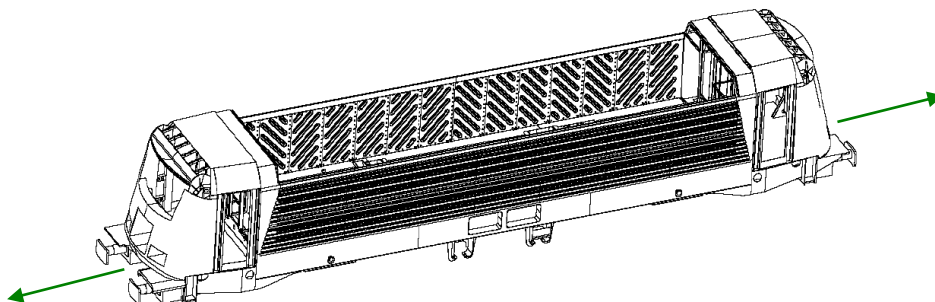
Obrázek 50 - Zatížení tlakovou silou 2 000 kN na spřáhla

- Podélná tlaková síla $F = 500\text{ kN}$ působící na nárazníky, které jsou umístěné na jedné diagonále



Obrázek 51 - Zatížení tlakovou silou 500 kN působící na nárazníky na diagonálách

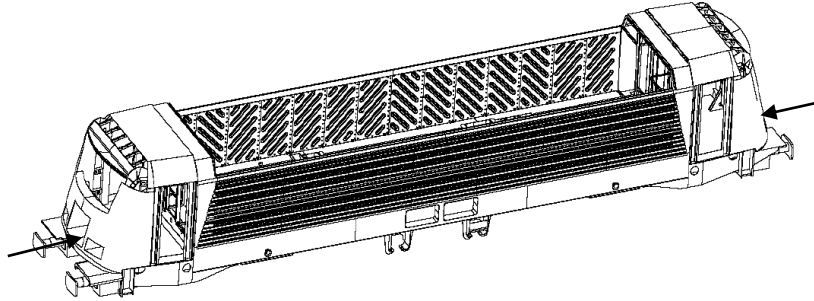
- Podélná tahová síla $F = 1\,000\text{ kN}$ na spřáhla vozidla



Obrázek 52 - Zatížení tahovou silou 1 000 kN na spřáhla

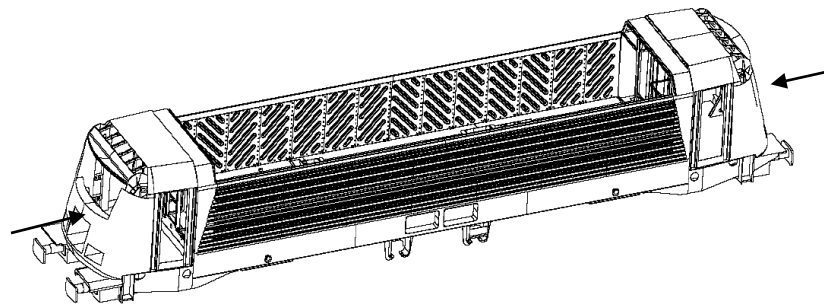
M.4.1.2. Tlakové síly na čelní stěně

- Tlaková síla $F = 400 \text{ kN}$ působící na čelo ve výšce 150 mm nad úrovní podlahy



Obrázek 53 - Zatížení na čelo 400 kN vozidla 150 mm na úrovni podlahy

- Tlaková síla $F = 300 \text{ kN}$ působící na čelo ve výšce spodního rámu okna

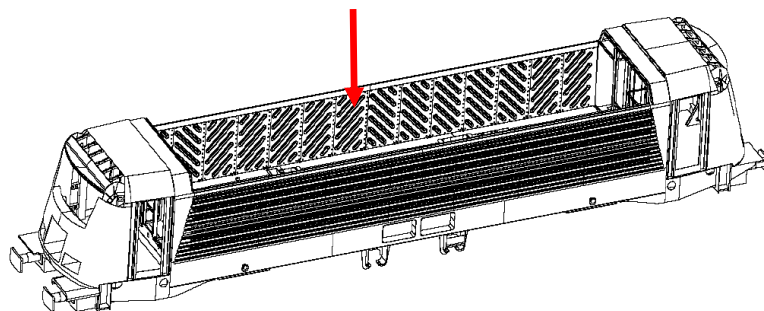


Obrázek 54 - Tlaková síla 300 kN na čelo ve výšce spodního rámu okna

M.4.2. Svislá statická zatížení skříně vozidla

M.4.2.1. Maximální provozní zatížení

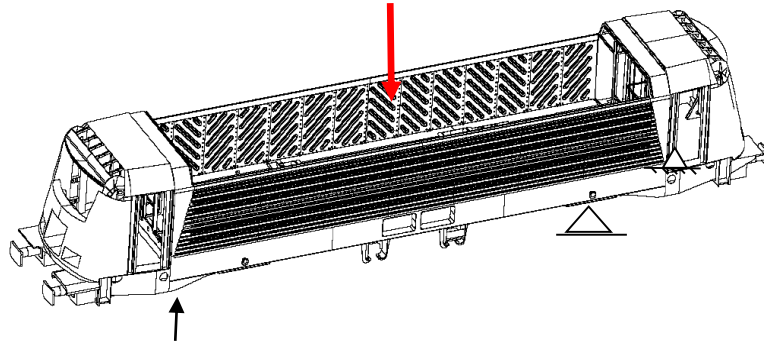
Maximální svislé provozní zatížení $1.3.g.m_1$



Obrázek 55 - Maximální provozní zatížení ($1.3.g.m_1$)

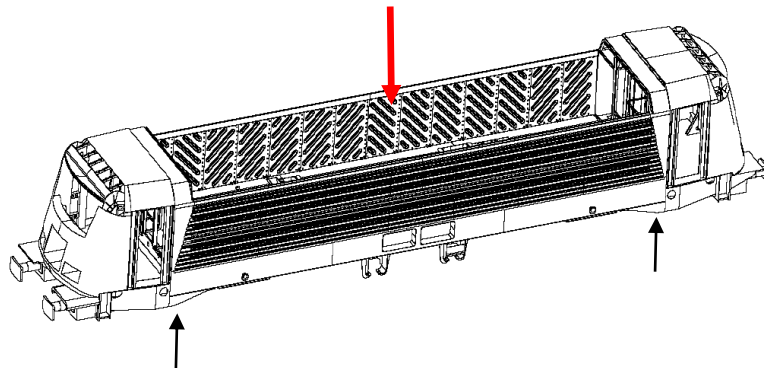
M.4.2.2. Zdvihání a zvedání

- Zvedání jednoho konce vozidla ve stanovených zvedacích místech, zatížení 1,1.g. (m_1+m_2)



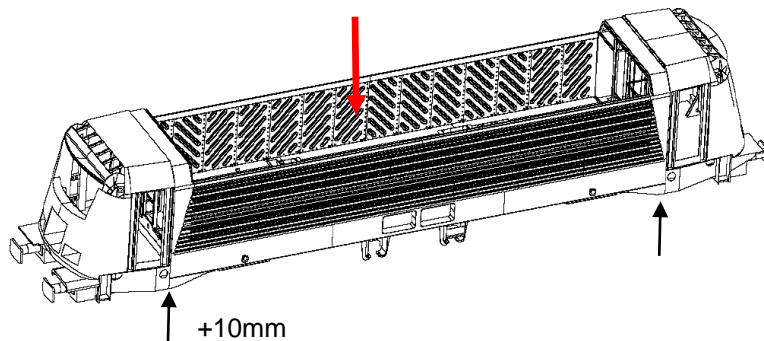
Obrázek 56 - Zvedání jednoho konce vozidla ve stanovených zvedacích místech (zatížení 1,1.g. (m_1+m_2))

- Zvedání celého vozidla ve stanovených zvedacích místech, zatížení 1,1.g. ($m_1+2.m_2$)



Obrázek 57 - Zvedání celého vozidla ve stanovených zvedacích místech (zatížení 1,1.g. ($m_1+2.m_2$))

- Zvedání celého vozidla ve stanovených zvedacích místech při posunutí jednoho opěrného místa o 10 mm nad rovinu zbývajících tří opěrných míst, zatížení 1,1.g. ($m_1+2.m_2$)

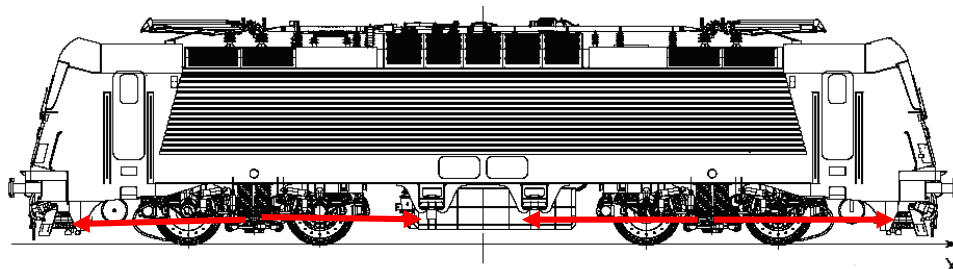


Obrázek 58 - Zvedání celého vozidla ve stanovených zvedacích místech s posunem jednoho místa o 10 mm (zatížení 1,1.g. ($m_1+2.m_2$))

M.4.3. Mezní statická zatížení vazeb

M.4.3.1. Druhy mezních zatížení spojené skříně s podvozkem

Maximální zrychlení podvozku ve směru osy „x“ o velikosti $\pm 3.g$



Obrázek 59 - Zrychlení podvozku $\pm 3.g$

Škoda Transportation a.s – pevnostní výpočet

M.4.3.2. Druhy mezních zatížení v místech uchycení vybavení

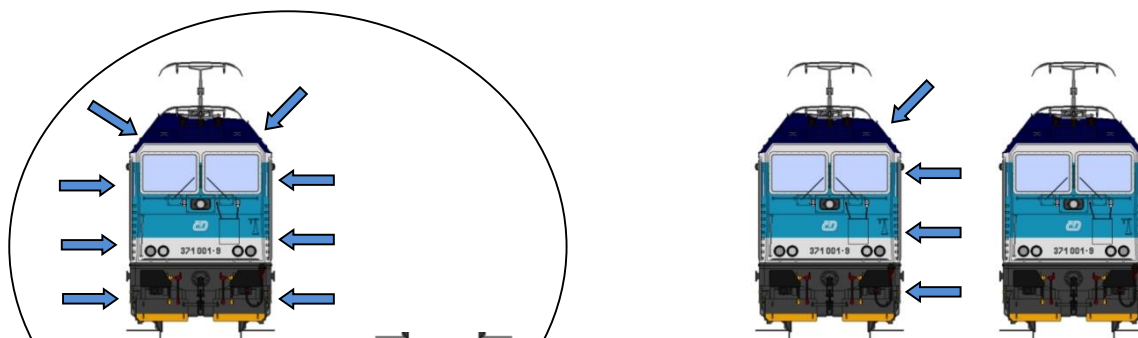
- Zatížení přístrojů vlivem zrychlení ve směru „x“ o velikosti $\pm 3.g$
- Zatížení přístrojů vlivem zrychlení ve směru „y“ o velikosti $\pm 1.g$
- Zatížení přístrojů vlivem zrychlení ve směru „z“ o velikosti $(1 \pm c).g$

M.5. Aerodynamické zatížení¹⁷

- Aerodynamické zatížení vozidla vzniká vnitřním, nebo vnějším přetlakem při průjezdu vozidla tunelem. Zatížení působí na celou plochu vozu. Hodnoty zatížení jsou stanoveny v aerodynamickém výpočtu vozidla. Maximální vnitřní přetlak činí $p_i = 3\,800\text{ Pa}$ a maximální vnější přetlak je $p_a = 2\,500\text{ Pa}$.
- Další zatížení vzniká při působení bočního větru, nebo při míjení vozidel na dvoukolejné trati. Zatížení působí pouze na jednu stranu vozu. Maximální hodnota tlaku činí $p_p = 3\,800\text{ Pa}$.
- Zatížení sběrače odporovou silou.
Na sběrač působí síly v podélném a příčném směru, síla působí na příčný a podélný průřez sběrače.¹⁸

¹⁷ Vychází z (VÚKV a.s., 2014)

¹⁸ Kontrola sběrače není součástí této diplomové práce, sběrač je ve výpočtu nahrazen hmotným bodem.



Obrázek 60 - Aerodynamické zatížení vozu v tunelu a při míjení dvou vozidel

Lokomotiva: [www.najbrt.cz/vlastní úprava](http://www.najbrt.cz/vlastni_uprava)

M.6. Únavová zatížení

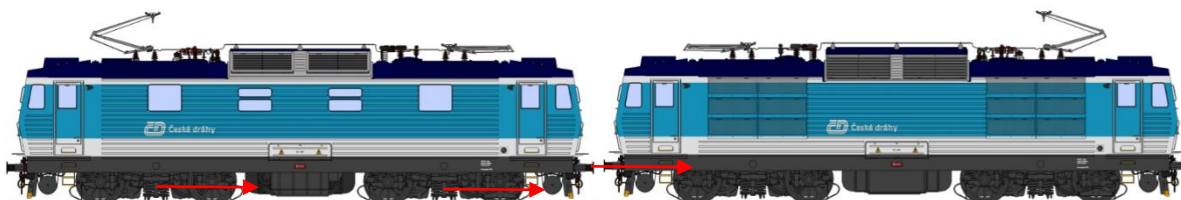
M.6.1. Druhy základních únavových zatížení skříně vozidla

M.6.1.1. Zatížení vyvolaná kolejí

- Zatížení vlivem zrychlení ve směru osy „z“ o velikosti $(1 \pm 0,25).g$,
- Zatížení vlivem zrychlení ve směru osy „y“ o velikosti $\pm 0.25.g$

M.6.1.2. Vytvoření tažné síly a brždění

- Zatížení vlivem zrychlení ve směru osy „x“ o velikosti $\pm 0.15.g$
- Trakce/brzda vozidlo je zatížené trakčními/brzdými silami podvozků o velikosti $F = 2.136,5 \text{ kN}$
- Dvojitá trakce: vozidlo je zatížené trakčními silami podvozků o velikosti $F = 2.136,5 \text{ kN}$ a současně tahovou silou $F = 273 \text{ kN}$ na spřáhle umístěném na předním konci vozidla

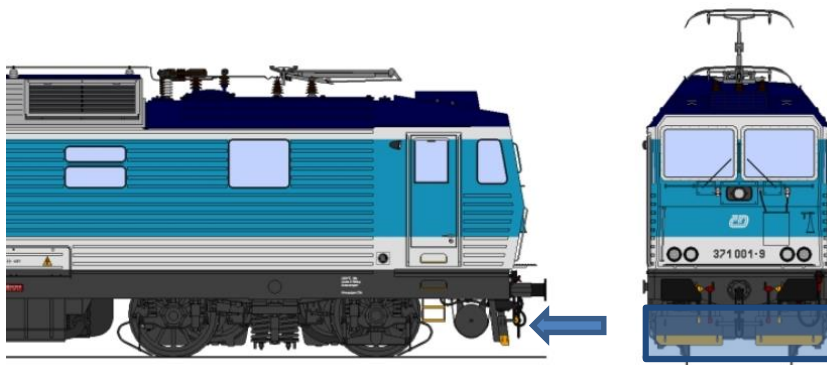


Obrázek 61 - Dvojitá trakce

Lokomotiva: [www.najbrt.cz/vlastní úprava](http://www.najbrt.cz/vlastni_uprava)

M.6.1.3. Zatížení pluhu

- Pro náraz běžné překážky ležící v kolejišti do pluhu lokomotivy je uvažovaná velikost síly $F_x = 30 \text{ kN}$.

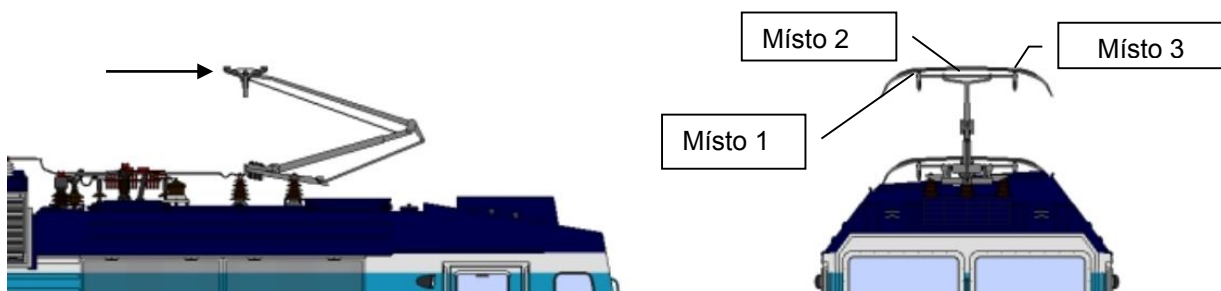


Obrázek 62 - Zatížení pluhu

Lokomotiva: [www.najbrt.cz/vlastní úprava](http://www.najbrt.cz/vlastni_úprava)

M.6.1.4. Zatížení sběrače

- Sběrač je zatěžován smykovou silou od přitlaku lišty sběrače na trolej o velikosti $F_o = 1 \text{ kN}$. Zatížení působí na různých místech po celé liště sběrače.



Obrázek 63 - Zatížení sběrače

Lokomotiva: [www.najbrt.cz/vlastní úprava](http://www.najbrt.cz/vlastni_úprava)

M.6.1.5. Aerodynamické únavové zatížení¹⁹

- Zatížení přetlakem působící na celou plochu vozidla.
Hodnota zatížení přetlaku $p_p = 914 \text{ Pa}$, tato hodnota vychází z aerodynamického výpočtu
- Zatížení přetlakem při míjení dvou vozidel, nebo bočního větru, zatížení působí na jednu plochu vozidla
Hodnota zatížení přetlaku $p_p = 914 \text{ Pa}$, tato hodnota vychází z aerodynamického výpočtu
- Zatížení sběrače odporovou silou.

¹⁹ Vychází z (Doubrava, 2014) (VÚKV a.s., 2014)



Na sběrač působí v podélném a příčném směru síly, tyto síly působí na příčný a podélný průřez sběrače.

M.7. Vyhodnocení napětí dle ČSN EN 12 663-1:2010²⁰

Pro prokázání statické pevnosti a stability konstrukce je dán požadavek na využití prvku dle vzorce:

$$U = \frac{R_d \cdot S}{R_L} \leq 1$$

(ÚNMZ, 2010)

kde:

- U = využití
- R_L = přípustná nebo mezní hodnota
- S = konstrukční bezpečností součinitel
- R_d = hodnota stanovená výpočtem nebo zkouškou.

Konkrétně pro mez kluzu vypadá výpočet takto:

$$U = \frac{\sigma_c \cdot S_1}{R} \leq 1$$

(ÚNMZ, 2010)

kde:

- U = využití [1]
- R = mez kluzu materiálu [N.mm⁻²]
- S₁ = konstrukční bezpečností součinitel [1]
- σ_c = vypočtená nebo naměřená hodnota napětí [N.mm⁻²].

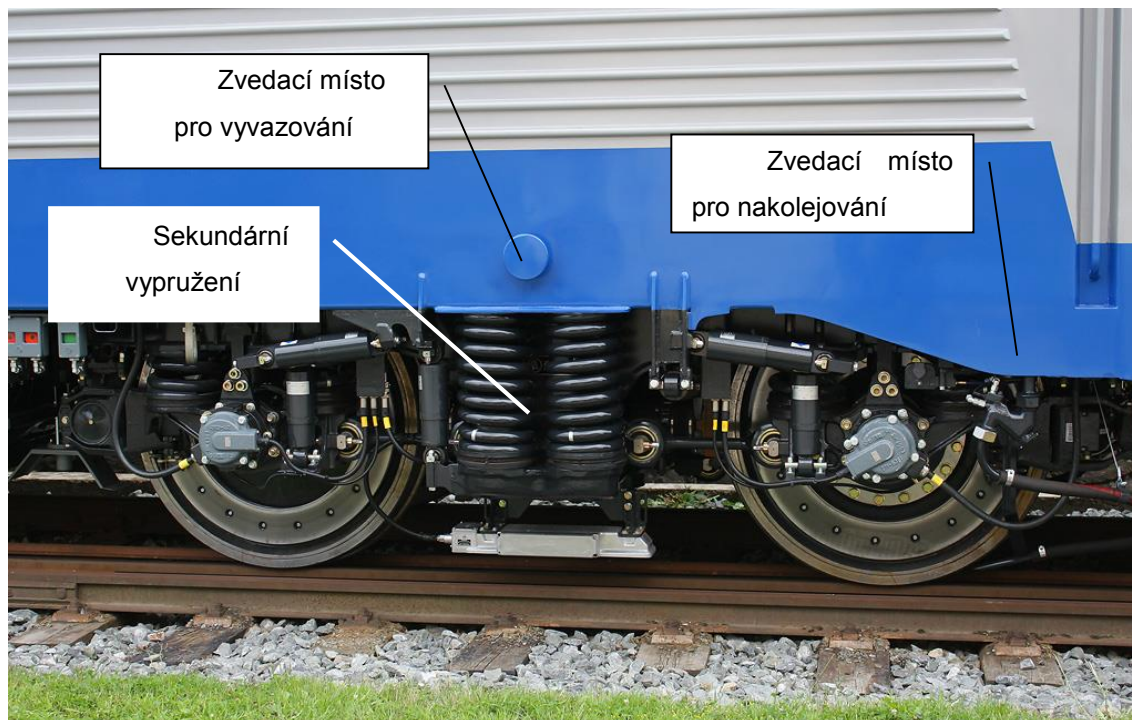
„Při hodnocení napětí u houževnatých materiálů není nutné u místních koncentrací napětí nutně splnění výše uvedeného kritéria. V analýze je tak v těchto místech dovolené překročení meze kluzu materiálu. Tyto oblasti však musí být dostatečně malé, tak aby v místě koncentrace napětí nevznikaly významné trvalé deformace po zániku zatížení.“ (ÚNMZ, 2010)

Tyto vzorce jsou použity dále v analýze pro hodnocení napětí v kritických místech konstrukce.

²⁰ Zpracováno dle (ÚNMZ, 2010)

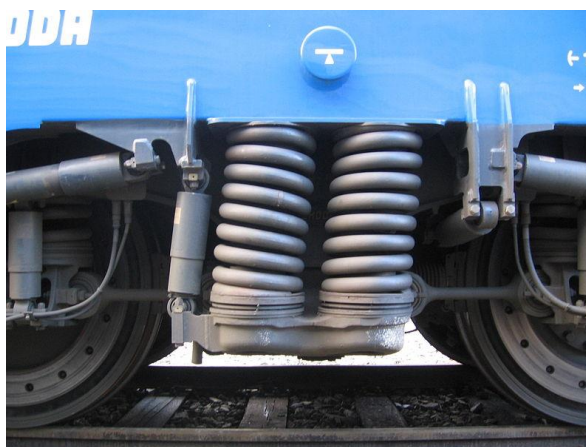
M.8. Uložení skříně - okrajové podmínky

Skříň vozidla je uložena na pružinách flexicoil²¹ sekundárního vypružení skříně, z této skutečnosti se vychází pro vytvoření okrajových podmínek modelu. Zvedací místo pro zvedání celého vozidla je u pravého dvojkolí, v tomto místě by se vozidlo zvedalo při nakolejování. Příruba nad pružinami slouží k zvedání skříně vozidla při vyvazování a zavazování podvozků.



Obrázek 64 - Škoda 109e uložení skříně

www.109-e.wgz.cz



Obrázek 65 - Škoda 109e deformace pružin při stání v oblouku

www.commons.wikipedia/Flexicoil

²¹ Flexicoil je druh pružin sekundárního vypružení, které mají uvnitř vložené gumové kužely, které při pohybu ve směru osy „x“ umožní relativně malý posuv (trakční síly musí přenášet jiný mechanismus) a hlavně zachycují vertikální pohyb skříně vůči podvozku. Tyto pružiny při průjezdu obloukem umožňují rovnoměrný pohyb obou podvozků.

M.8.1. Okrajové podmínky pro běžné zatěžovací stavy^{22 23}

Pro běžné zatěžovací stavy jsou použity dvě okrajové podmínky:

- Uložení v místě sekundárního vypružení:

$$U_x = \text{povolené} \quad R_x = \text{povolené}$$

$$U_y = 0 \quad R_y = \text{povolené}$$

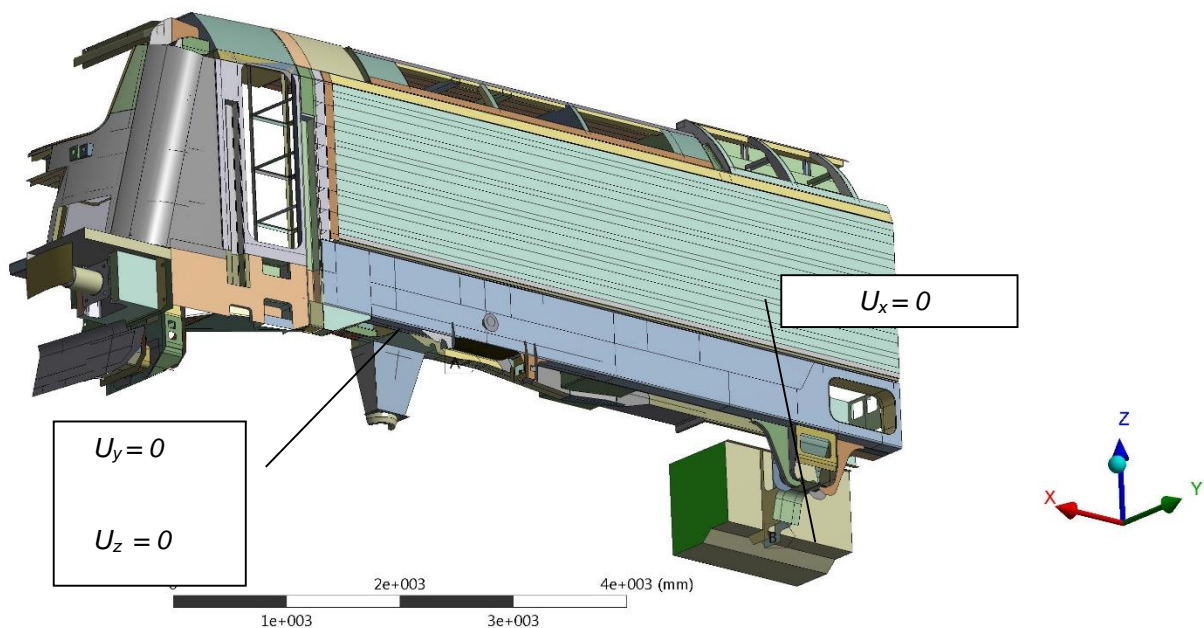
$$U_z = 0 \quad R_z = \text{povolené}$$

- Uložení v těžišti trakčního transformátoru²⁴:

$$U_x = 0 \quad R_x = \text{povolené}$$

$$U_y = \text{povolené} \quad R_y = \text{povolené}$$

$$U_z = \text{povolené} \quad R_z = \text{povolené}$$



Obrázek 66 - Okrajové podmínky pro běžné zatěžovací stavy

²² Všechny následující obrázky až do konce práce jsou výstupem z programu ANSYS Workbench 17.0

²³ Vychází z (Doubrava, 2014)

²⁴ Podmínka je zavedena z důvodu stabilizace modelu

M.8.2. Okrajové podmínky pro zvedání vozidla²⁵

Pro zvedání vozidla jsou použity dvě okrajové podmínky:

- Uložení ve zvedacím místě:

$$U_x = \text{povolené} \quad R_x = \text{povolené}$$

$$U_y = 0 \quad R_y = \text{povolené}$$

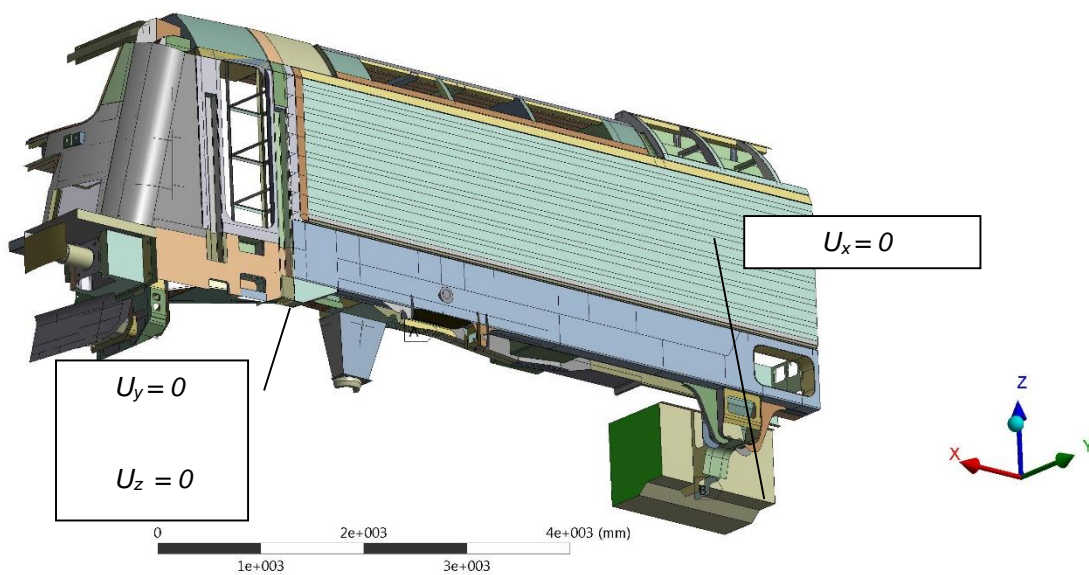
$$U_z = 0 \quad R_z = \text{povolené}$$

- Uložení v těžišti trakčního transformátoru:²⁶

$$U_x = 0 \quad R_x = \text{povolené}$$

$$U_y = \text{povolené} \quad R_y = \text{povolené}$$

$$U_z = \text{povolené} \quad R_z = \text{povolené}$$



Obrázek 67 - Okrajové podmínky pro zvedání vozidla

²⁵ Vychází z (Doubrava, 2014)

²⁶ Podmínka je zavedena z důvodu stabilizace modelu

M.9. Nahrazení komponent hmotnými body²⁷

Vnější a vnitřní vybavení vozidla bylo nahrazeno hmotnými body:

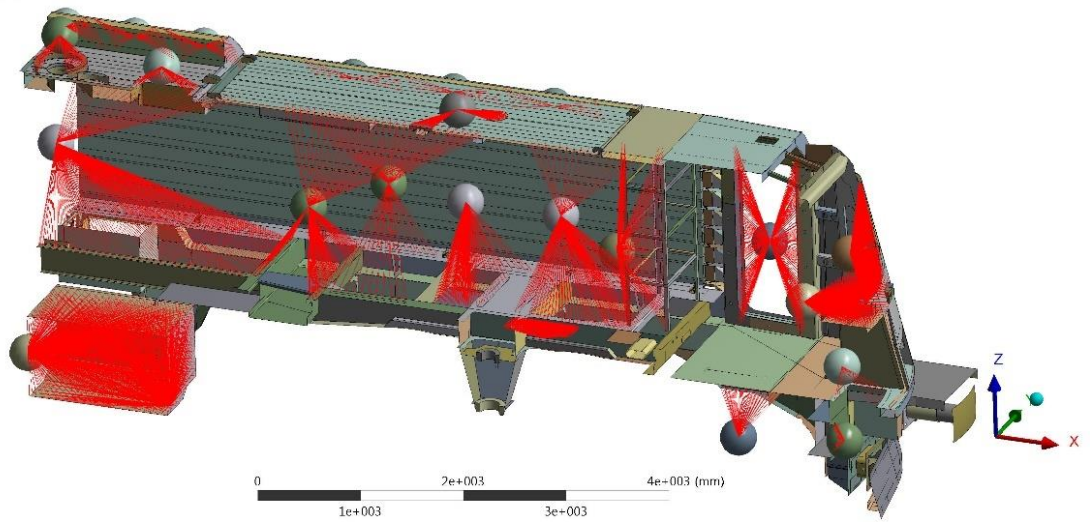
Tabulka 9 - Hmotné body na hrubé stavbě a poloha jejich těžiště Škoda Transportation a.s. – pevnostní výpočet

Hmotné body ve strojně				
Součást	Hmotnost [kg]	X _t [mm]	Y _t [mm]	Z _t [mm]
Pneumatická deska	539	5 264,9	950	2 780
Sloup chlazení trakčního motoru	252	4 375	900	2 780
Brzdový odporník	355	3 518,7	811	2 700
Přístrojový blok	107	2 681	775	2 380
Trakční měnič	3 275	0	870	2 600
Trakční transformátor	13 820	0	0	735
Hmotné body v kabině				
Klimatizace	188,5	8 580	0	1 828
Dveře kabiny	96,7	7 223	1 385	2 389
Dveře mezistěny	63,3	6 243	0	2 720
Pult	236	8 200	0	2 464
Čelní sklo	60	8 700	0	3 050
Šroubovka – tažný hák	180,6	8 685	0	1 035
Hlavní vzduchojem	184	7 466	0	914
Hmotné body na střeších				
Žaluzie 11	12	5 080,5	1 305,9	3 537,8
Žaluzie 12	12	4 025,5	1 305,9	3 537,8
Žaluzie 13	12	2 970,5	1 305,9	3 537,8
Žaluzie 21	28	1 452	1 200	3 700
Žaluzie 22	28	726	1 200	3 700
Žaluzie 23	28	0	1 200	3 700
Odpojovač sběrače	66	1 500	0	4 009
Měřicí transformátor	58	354	200	4 091
Sběrač	174	4 610,9	0	4 000

²⁷ Zpracováno podle (Doubrava, 2014)

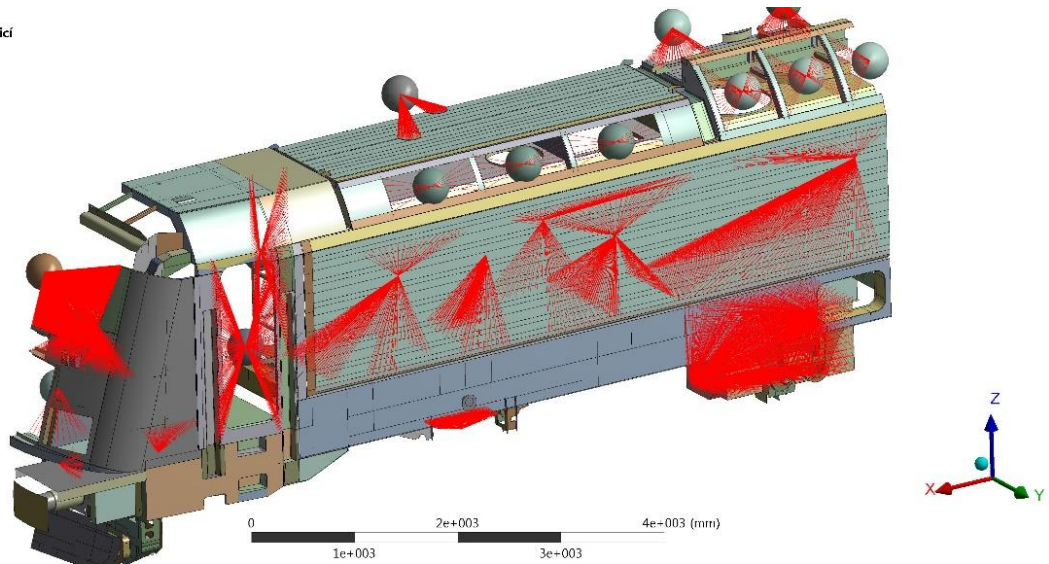
C: Hrubá stavba s AI bočníci
Solution Information
18.7.2016 8:58

- Constraint Equation
- Beam
- Spring



C: Hrubá stavba s AI bočníci
Solution Information
18.7.2016 8:59

- Constraint Equation
- Beam
- Spring



Obrázek 68 - Hmotné body na hrubé stavbě

M.10. Výpočet hrubé stavby s hliníkovou bočnicí

Při výpočtu hrubé stavby byla využita téměř dokonalá symetrie skříně a model byl rozdělen na čtvrtiny. Tato podmínka však neumožňuje použít všechna zatížení, která definuje norma ČSN EN 12 663-1 a všechna aerodynamická a únavová zatížení:

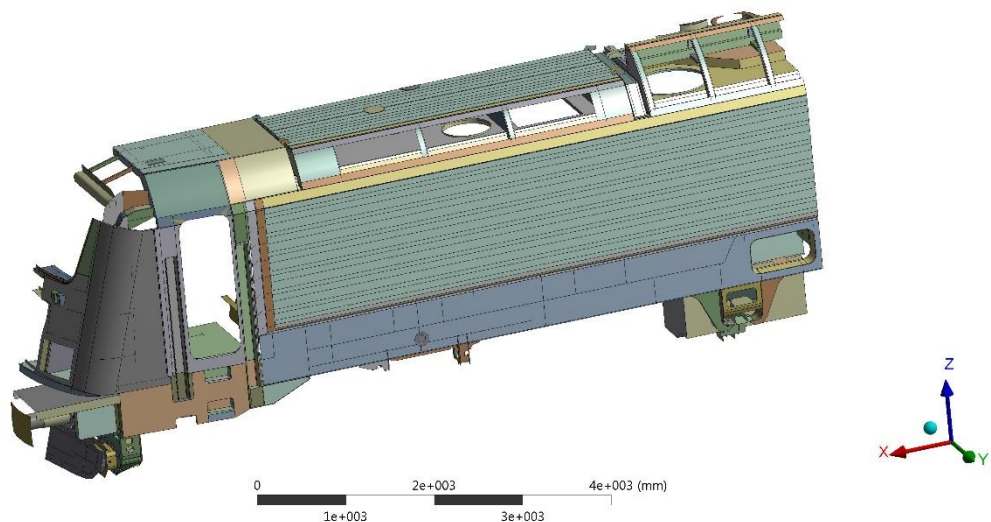
- Jednostranné zvedání vozidla
- Zvedání vozidla při posunu jednoho zvedacího místa o 10 mm
- Aerodynamické zatížení při míjení vozidel
- Únavové zatížení dvojitou trakcí.

Avšak zbylá zatížení dostatečně ukazují pevnostní a tuhostní charakteristiky návrhu hrubé stavby skříně. Pro úplnou kontrolu by bylo potřeba přesnějšího modelu a důkladnějšího propracování geometrie vstupující do výpočtu.

M.10.1. Geometrie výpočtového modelu

Model je složen z 530 součástí. Většina součástí je plošného typu a je tedy pro snazší výpočet možné použít elementy typu Shell.

Geometry

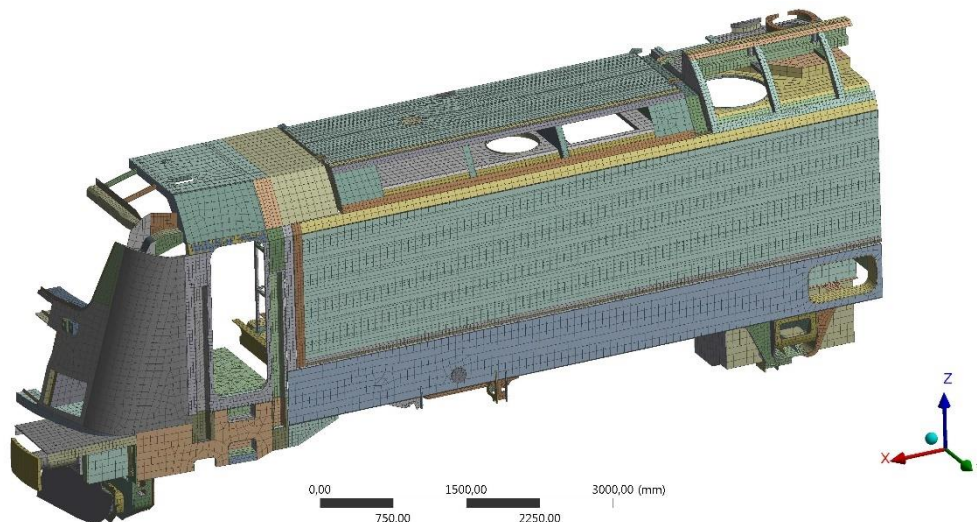


Obrázek 69 - Geometrie modelu

M.10.2. Síť modelu

Model byl vysíťován 77 221 elementy převážně Shell elementy typu Quad4, v menší míře byly použity elementy typu Tet10, nebo Tri3.

Mesh
18.7.2016 8:57



Obrázek 70 - Síť modelu

M.10.3. Použité materiály²⁸

Hustota některých materiálů byla upravena tak, aby hmotnost odpovídala hmotnosti skutečné součásti.

Tabulka 10 - Materiály použité pro výpočet hrubé stavby

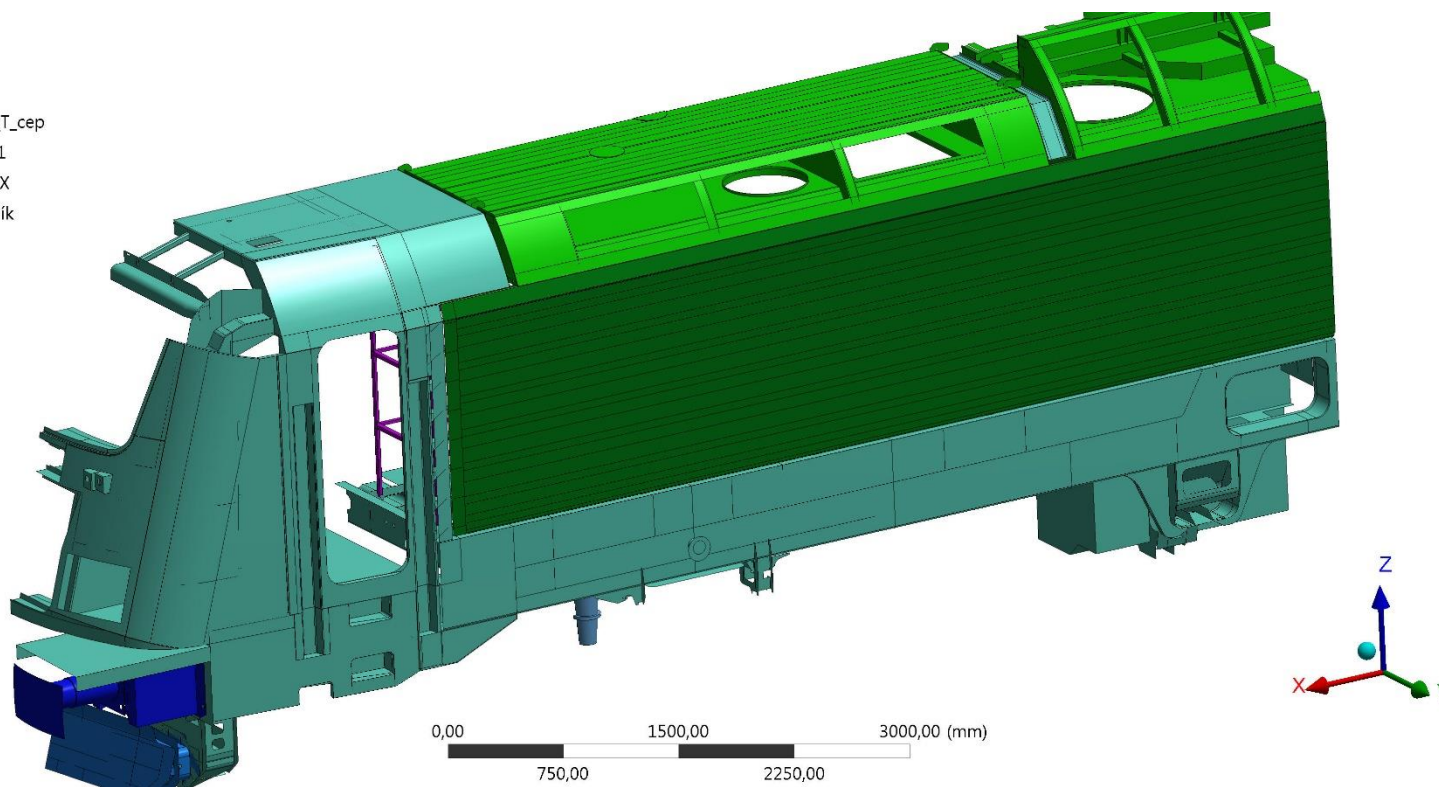
Materiály použité na výpočet HSS s hliníkovou bočnicí						
Materiál	Mez pevnosti	Mez kluzu	Modul pružnosti v tahu	Modul pružnosti ve smyku	Poissonovo číslo	Hustota
	R_m (N.mm ⁻²)	R_e (N.mm ⁻²)	E (N.mm ⁻²)	G (N.mm ⁻²)	ν (N.mm ⁻²)	P (kg.m ⁻³)
S355 J2G3 (Skříň)	510	355	210 000	80 000	0.313	7 850
EN AW xxxx (Střecha)	180	80	70 000	26 700	0.313	3 108
EN AW 6061 (Bočnice)	295	250	70 000	26 700	0.311	2 700
S500QL (Mezistěna)	590	500	210 000	80 000	0.311	7 850
S355_NARAZNIK	510	355	210 000	80 000	0.313	7 850
S355_PLUH	510	355	210 000	80 000	0.313	9 184
42CrMo+QT(Čep)	510	355	210 000	80 000	0.313	8 184

²⁸ Vychází z (Doubrava, 2014)



Geometry
18.7.2016 14:57

- 42CrMo4+QT_cep
- EN_AW_6061
- EN_AW_XXXX
- S355_narázník
- S355_pluh
- S355J2G3
- S500QL

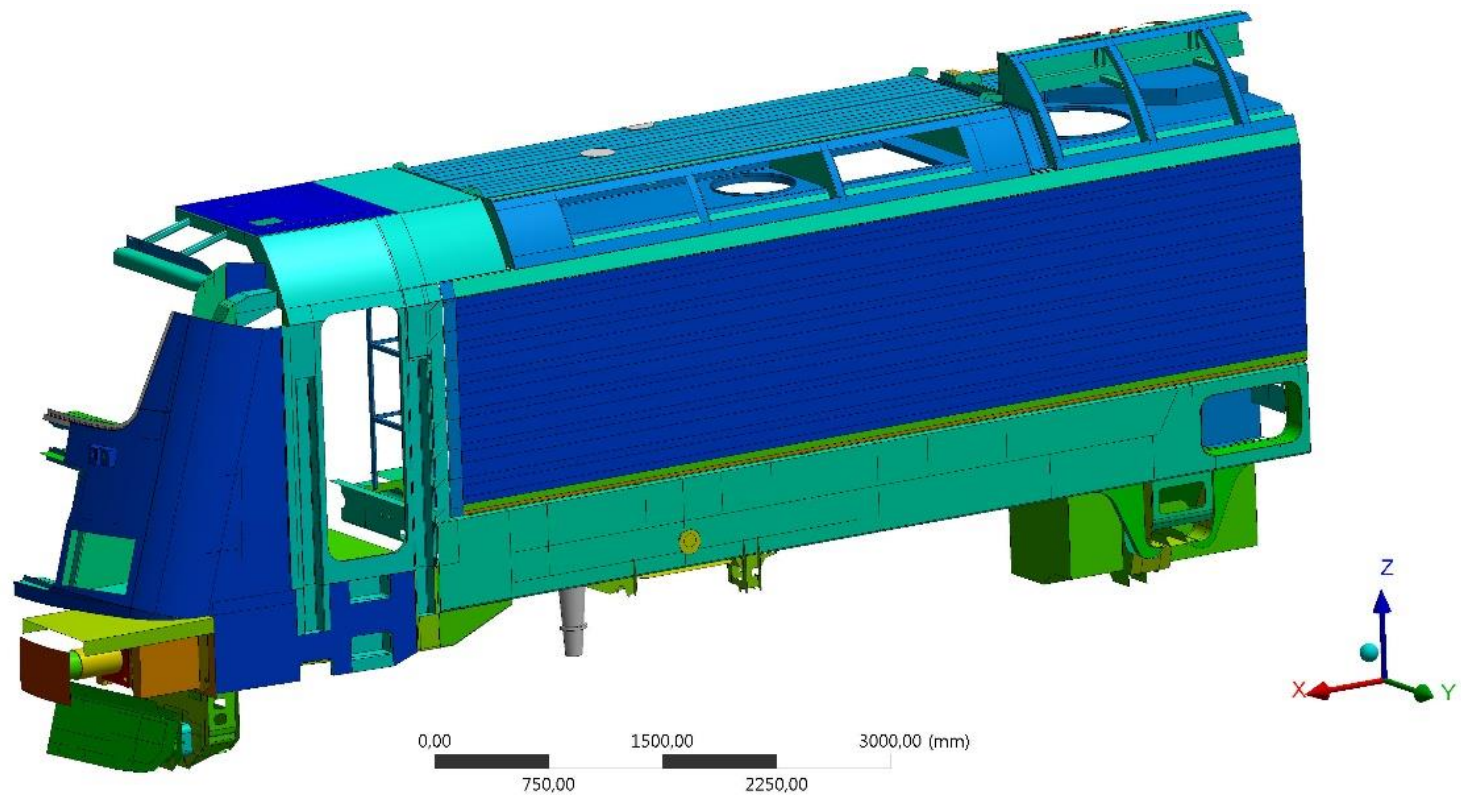


Obrázek 71 - Rozložení materiálu na modelu



Geometry
18.7.2016 14:58

- 45,
- 40,
- 30,
- 25,
- 20,
- 16,
- 15,
- 12,
- 10,
- 8,
- 7,
- 6,
- 5,
- 4,
- 3,5
- 3,2
- 3,
- 2,5
- 2,

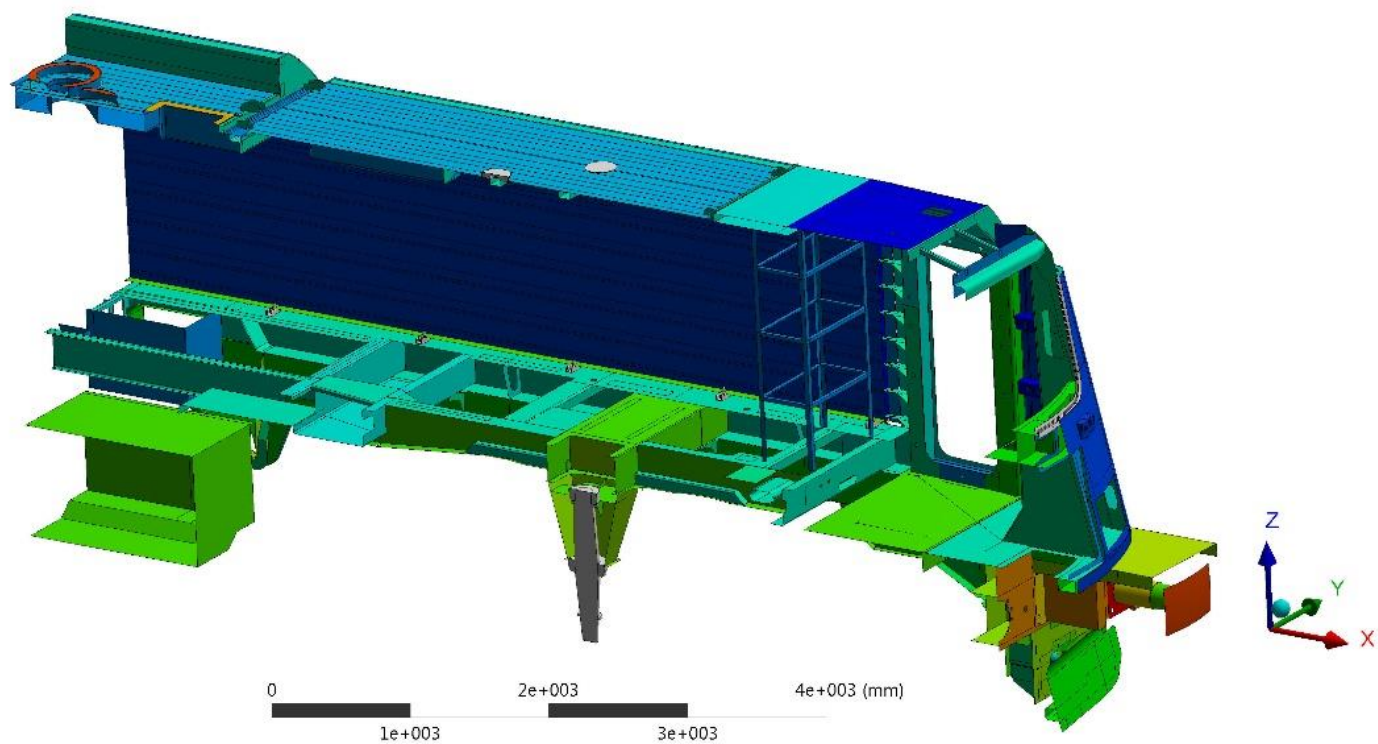


Obrázek 72 - Rozložení tloušťek materiálu na modelu



Geometry
18.7.2016 14:58

- 45,
- 40,
- 30,
- 25,
- 20,
- 16,
- 15,
- 12,
- 10,
- 8,
- 7,
- 6,
- 5,
- 4,
- 3,5
- 3,2
- 3,
- 2,5
- 2,



Obrázek 73 - Rozložení tloušťek materiálu na modelu

M.10.4. Kombinace statických zatížení²⁹

Tabulka 11 - Kombinace statických zatížení

Škoda Transportation a.s. – pevnostní výpočet/vlastní úprava

Kombinace	Svislé zatížení	Síla na nárazníky	Síla na spráhlo	Síla na nárazníky uhlopříčně	Síla na čelo 150 mm nad podlahou	Síla na čelo pod rámem okna	Zatížení podvozků zrychlením ve směru osy „x“	Zatížení přístrojů zrychlením ve směru osy „x“	Zatížení přístrojů zrychlením ve směru osy „y“	Zatížení přístrojů zrychlením ve směru osy „z“	Zatížení celého vozidla přetlakem
1	1.0.g	-2 000 kN									
2	1.0.g		-2 000 kN								
3	1.0.g		1 000 kN								
4	1.0.g			-500 kN							
5	1.0.g				-400kN						
6	1.0.g					-300 kN					
7	1.0.g						3.g				
8	1.0.g						-3.g				
9	1.0.g							3.g			
10	1.0.g							-3.g			
11	1.0.g								1.g		
12	1.0.g								-1.g		
13	1.0.g									1.g	
14	1.0.g									-1.g	
15	1.0.g										-3 800 Pa
16	1.0.g										2 500 Pa

M.10.5. Únavová zatížení³⁰

Pro vyšetření dynamického namáhání a únavy materiálu u kolejových vozidel se používají směrnice DVS 1608 pro hliníkové součásti a DVS 1612 pro ocelové součásti. Tyto směrnice předepisují kontrolu základního materiálu a svarových spojů dle mezních křivek závislých na symetrii cyklu zatížení a dosaženého horního napětí. Výpočtáři Škody Transportation a.s. mají vyvinutý vlastní program pro ANSYS, který umožňuje konstrukce takto kontrolovat. Tento nástroj

²⁹ Zpracováno podle (Doubrava, 2014)

³⁰ Vychází z (Doubrava, 2014)



jsem neměl k dispozici, a tak jsem provedl základní kontrolu pomocí ANSYSu, který má nástroj na řešení problémů únavy materiálu a který umožňuje vyšetřovat nízko- i vysoko-cyklovou únavu materiálu³¹. Vysoko-cyklová únava používá při výpočtech S-N křivky materiálů, které jsem použil z původních materiálů v ANSYSu, konkrétně: Aluminum alloy s Structural Steel.³² Výstupy z tohoto nástroje jsou bezpečnost proti mezi únavy a počet cyklů do lomu součásti (životnost).

Tabulka 12 - Kombinace únavových zatížení

Škoda Transportation a.s. – pevnostní výpočet/vlastní úprava

Kombinace	Svislé zatížení	Zrychlení ve směru „x“	Zrychlení ve směru „y“	Zrychlení ve směru „z“	Tažná síla od podvozku	Zatížení celého vozidla přetlakem	Zatížení sběrače smykovou silou od troleje	Zatížení pluhu nárazem
1	1.0.g	± 0,15.g	± 0,25.g	± 0,25.g	± 2. 136,5 kN	914 Pa	1 kN	30 kN

³¹ V ANSYS označeny jako Strain- a Stress-life

³² Hliníková slitina a konstrukční ocel



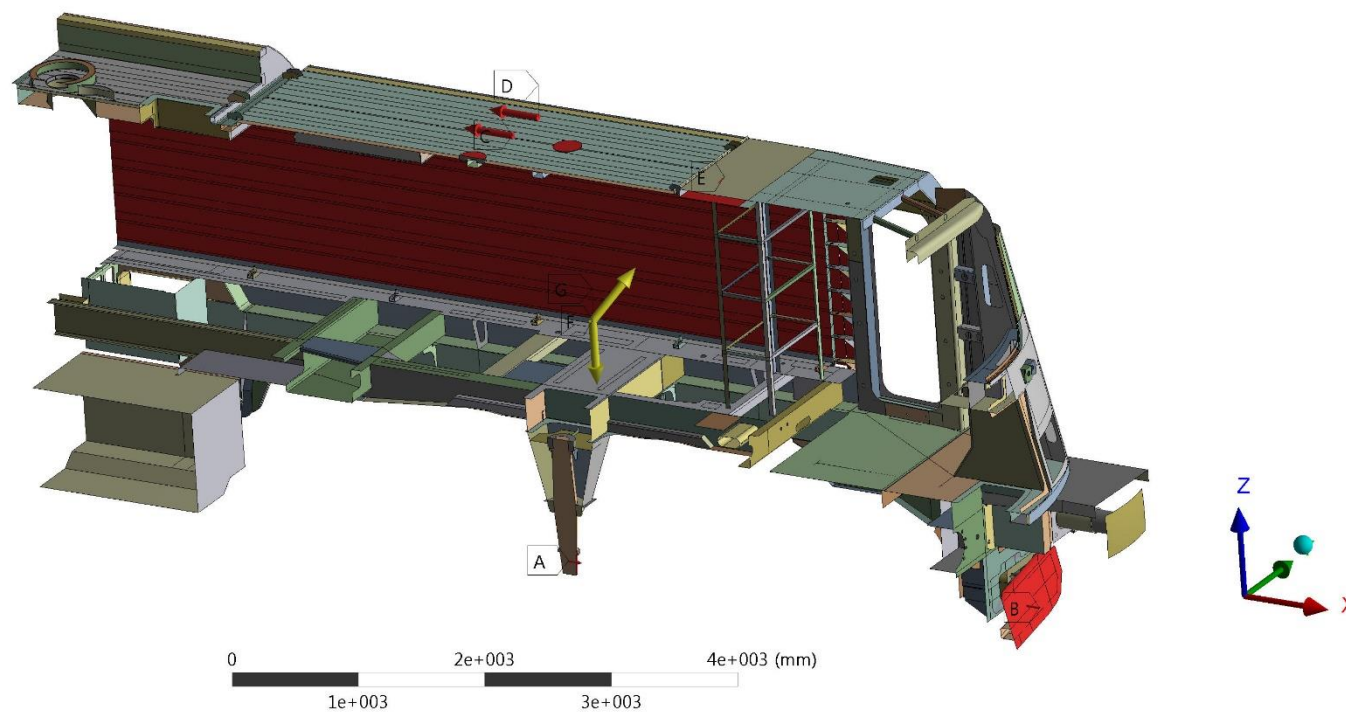
B: Hrubá stavba s AI bočnicí

Standard Earth Gravity

Time: 1, s

20.7.2016 10:10

- F** Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
- G** Acceleration: 3826,8 mm/s²
- A** Force: 1,365e+005 N
- B** Force 2: 15000 N
- C** Remote Force: 500, N
- D** Remote Force 2: 1000, N
- E** Pressure: 1,5831e-003 MPa

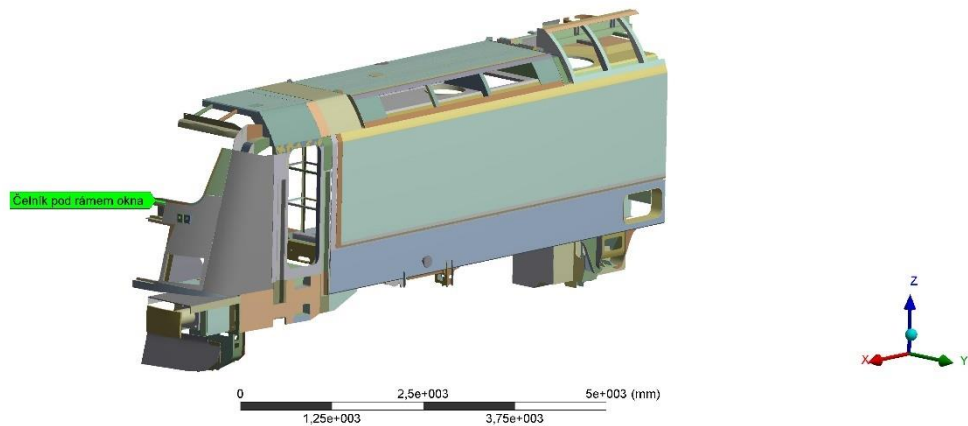


Obrázek 74 - Kombinace únavových zatížení

M.10.6. Kritická místa konstrukce

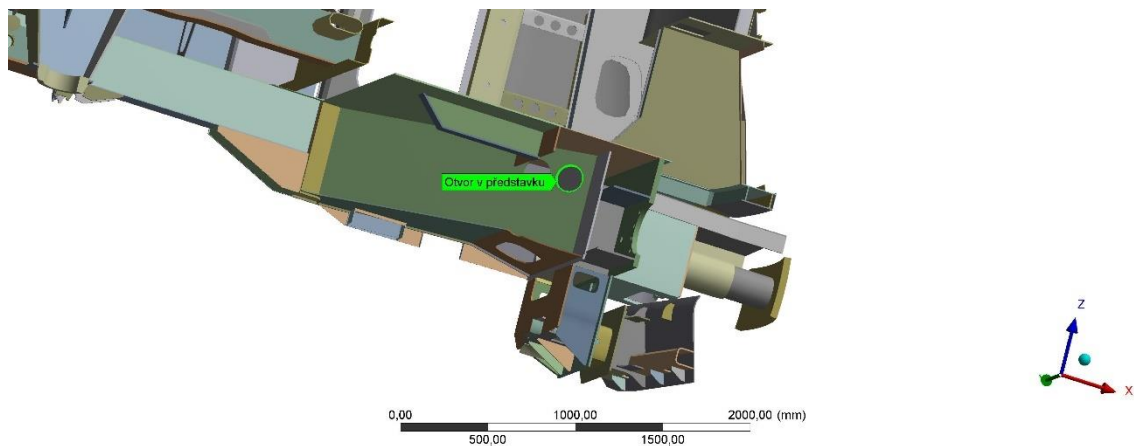
Kritická místa na modelu byla vybrána částečně podle výpočtu hrubé stavby 109e3 (Doubrava, 2014), částečně s ohledem na návrh hrubé stavby s hliníkovou bočnicí. Napětí v kritických místech jsou zobrazeny v tabulkách pro většinu statických zatížení.

- Kritické místo 1 – Čelník pod rámem okna



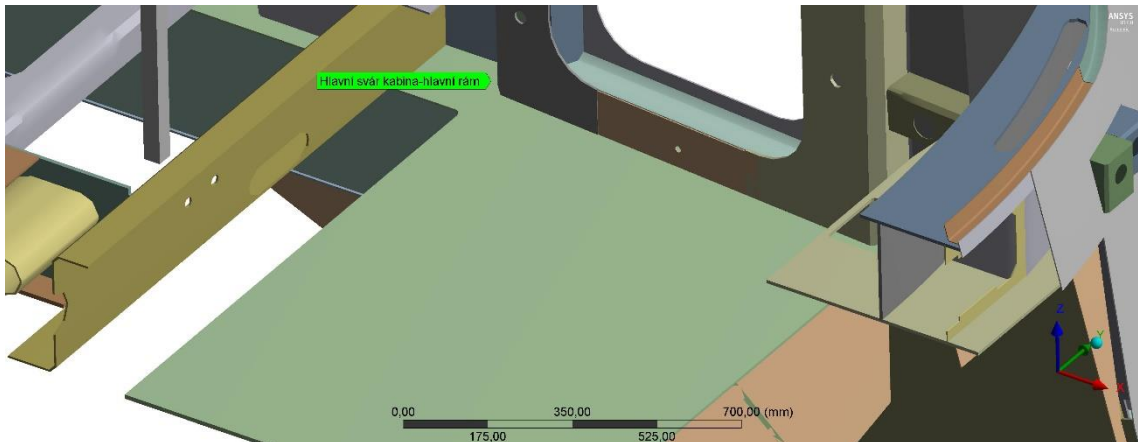
Obrázek 75 - Kritické místo 1

- Kritické místo 2 – Otvor v představku



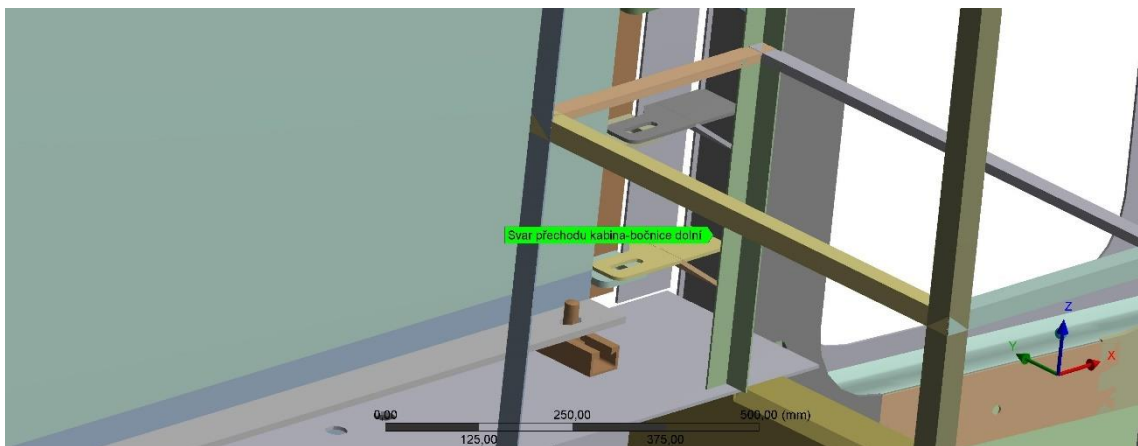
Obrázek 76 - Kritické místo 2

- Kritické místo 3 – Hlavní svar kabina-hlavní rám



Obrázek 77 - Kritické místo 3

- Kritické místo 4 – Svar kabina-bočnice dolní



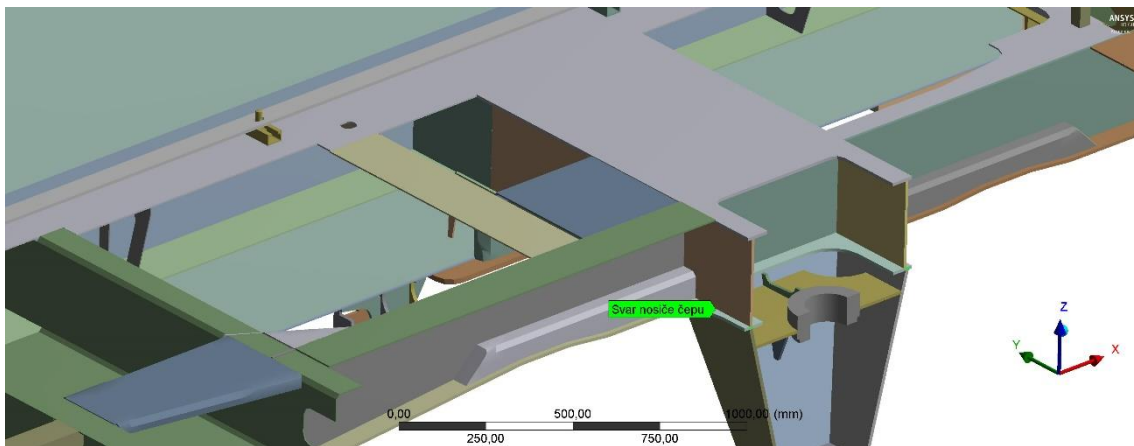
Obrázek 78 - Kritické místo 4

- Kritické místo 5 – Svar kabina-bočnice horní



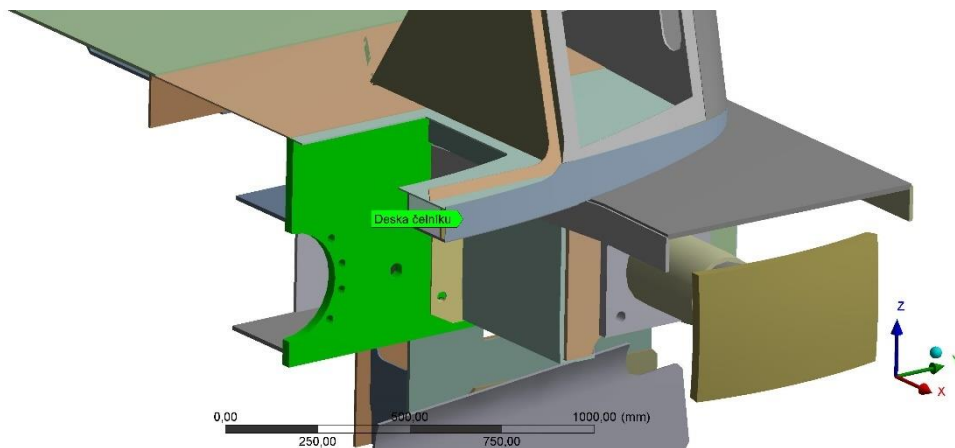
Obrázek 79 - Kritické místo 5

- Kritické místo 6 – Svar nosiče čepu



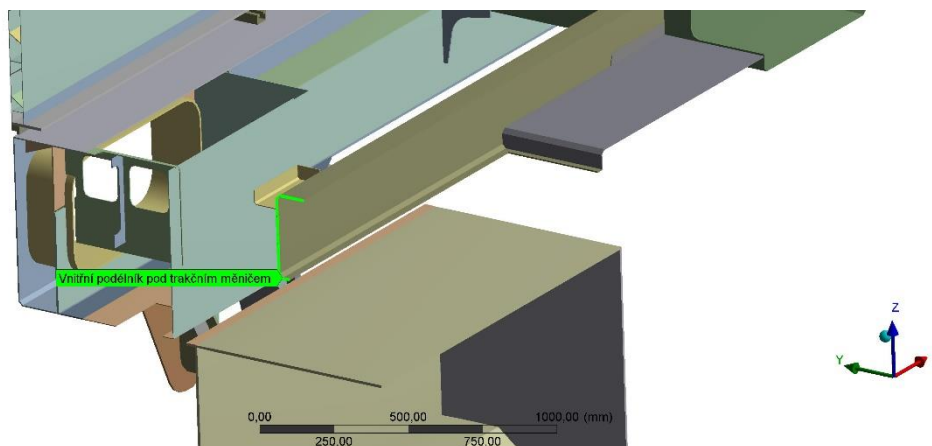
Obrázek 80 - Kritické místo 6

- Kritické místo 7 – Deska čelníku



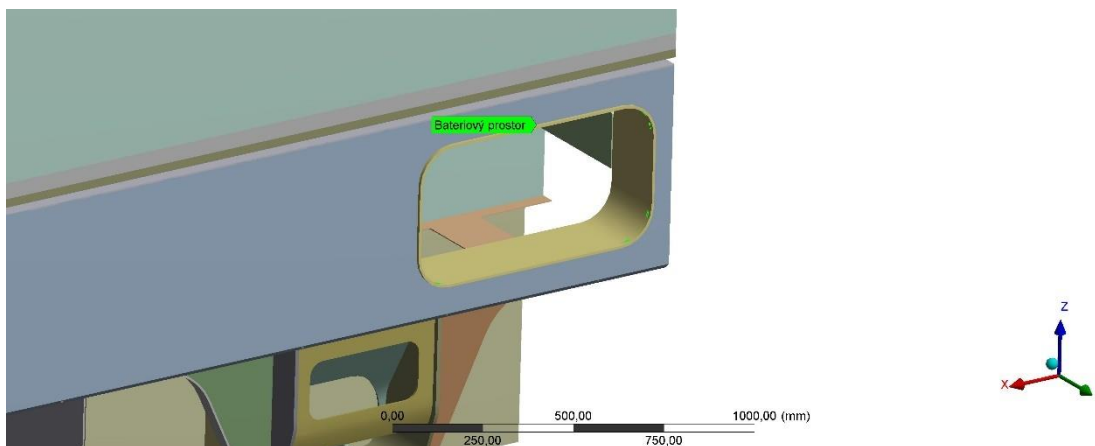
Obrázek 81 - Kritické místo 7

- Kritické místo 8 – Vnitřní podélník pod trakčním měničem



Obrázek 82 - Kritické místo 8

- Kritické místo 9 – Lem bateriového prostoru



Obrázek 83 - Kritické místo 9

M.10.7. Výsledky výpočtů

V následujícím odstavci jsou zobrazeny výsledky výpočtů, ke kterým jsou přiloženy tabulky hodnoty napětí v kritických místech. Kontrola probíhá dle jmenovitých napětí HMM. Z hodnocení jsou vyjmuta místa, kde je přímo zavedeno zatížení, viz síly působící na čelo. Barevná škála u obrázků výsledků je upravena tak, aby rozhraní odpovídalo materiálovým charakteristikám oceli S355 J2G3:

- 355 N.mm^{-2} – mez kluzu základního materiálu
- 308 N.mm^{-2} – mez kluzu základního materiálu snižena o koef. bezpečnosti 1,15
- 278 N.mm^{-2} – mez kluzu základního materiálu snižena o koef. bezpečnosti 1,15 a koeficient svaru $\alpha_w = 0,9$

M.10.7.1. Statické zatížení - výsledky

- Tlaková síla $F = 2\,000 \text{ kN}$ na nárazníky
 - Vypočtená napětí v kritických místech jsou zobrazeny v tabulce 13
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 84 a 85
- Tlaková síla $F = 2\,000 \text{ kN}$ na spřáhlo
 - Vypočtená napětí v kritických místech jsou zobrazeny v tabulce 14
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 86 a 87
- Tahová síla $F = 1\,000 \text{ kN}$ na spřáhlo
 - Vypočtená napětí v kritických místech jsou zobrazeny v tabulce 15
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 88 a 89
- Tlaková síla $F = 500 \text{ kN}$ na diagonále působící na nárazníky
 - Vypočtená napětí v kritických místech jsou zobrazeny v tabulce 16



- Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 90 a 91
- Tlaková síla $F = 400 \text{ kN}$ působící na čelo 150 mm nad podlahou kabiny
 - Vypočtená napětí v kritických místech jsou zobrazeny v tabulce 17
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 92 a 93
- Tlaková síla $F = 300 \text{ kN}$ působící na čelo pod lemem čelního skla
 - Vypočtená napětí v kritických místech jsou zobrazeny v tabulce 18
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 94 a 95
- Zrychlení podvozků $\pm 3.g$ ve směru osy „x“
 - Vypočtená napětí v kritických místech jsou zobrazeny v tabulce 19 a 20
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 96,97,98 a 99
- Zvedání celého vozidla ve stanovených zvedacích místech
 - Vypočtená napětí v kritických místech jsou zobrazeny v tabulce 21
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 100 a 101
- Zatížení přístrojů zrychlením $\pm 3.g$ ve směru osy „x“
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 102 a 103
- Zatížení přístrojů zrychlením $\pm 1.g$ ve směru osy „y“
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 104 a 105
- Zatížení přístrojů zrychlením $\pm 1.g$ ve směru osy „z“
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 106 a 107
- Zatížení vozidla přetlakem
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 108 a 109

M.10.7.2. Únavová zatížení - výsledky

- Kombinace všech provozních zatížení
 - Bezpečnost proti mezi únavy je na obrázcích na obrázcích 110 a 111
 - Životnost součástí do lomu je na obrázcích 112 a 113

M.10.7.3. Deformace vozidla

- Průhyb skříně vozidla při normálním provozním zatížení
 - Deformace skříně je na obrázcích 114,115 a 116
- Průhyb skříně vozidla při maximálním provozním zatížení
 - Deformace skříně je na obrázcích 117,118 a 119

M.10.7.4. Modální analýza

- Vlastní tvary pro vypočtené vlastní frekvence
 - Tvary kmitů jsou na obrázcích 120-126

M.10.8. Výsledky výpočtu hrubé stavby s hliníkovou bočnicí

Tabulka 13 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zatížení 2 000 kN na nárazníky

Místo	Kritické místo	Mez kluzu materiálu	Koefficient svaru	Požadovaná bezpečnost	Přípustné napětí	Srovnávací napětí	Využití
1	Čelo pod rámem okna	355	1	1,15	309	1 365,16	3,85
2	Otvor v představku	355	1	1,15	309	160,88	0,45
3	Svar kabina-hlavní rám	355	0,9	1,15	278	2 021,8	5,70
4	Svar kabina-bočnice dolní	355	0,9	1,15	278	1 880	5,30
5	Svar kabina-bočnice horní	355	0,9	1,15	278	159,35	0,45
6	Svar nosiče čepu	355	0,9	1,15	278	68,816	0,19
7	Deska čelníku	355	1	1,15	309	667,03	1,88
8	Vnitřní podélník pod trakčním měničem	355	1	1,15	309	249,26	0,70
9	Lem bateriového prostoru	355	0,9	1,15	278	469,07	1,32

Tabulka 14 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zatížení 2000 kN na spřáhlo

Místo	Kritické místo	Mez kluzu materiálu	Koefficient svaru	Požadovaná bezpečnost	Přípustné napětí	Srovnávací napětí	Využití
1	Čelo pod rámem okna	355	1	1,15	309	66,443	0,19
2	Otvor v představku	355	1	1,15	309	301,1	0,85
3	Svar kabina-hlavní rám	355	0,9	1,15	278	1 088,4	3,07
4	Svar kabina-bočnice dolní	355	0,9	1,15	278	1 063,4	3,00
5	Svar kabina-bočnice horní	355	0,9	1,15	278	82,737	0,23
6	Svar nosiče čepu	355	0,9	1,15	278	42,681	0,12
7	Deska čelníku	355	1	1,15	309	1 645,5	4,64
8	Vnitřní podélník pod trakčním měničem	355	1	1,15	309	178,85	0,50
9	Lem bateriového prostoru	355	0,9	1,15	278	219,44	0,62



Tabulka 15 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zatížení 1 000 kN na spřáhlo

Místo	Kritické místo	Mez kluzu materiálu	Koeficient svaru	Požadovaná bezpečnost	Přípustné napětí	Srovnávací napětí	Využití
		Re [MPa]	α_w [1]	S [1]	σ_p [MPa]	σ_{MISES} [MPa]	U [1]
1	Čelo pod rámem okna	355	1	1,15	309	38,585	0,11
2	Otvor v představku	355	1	1,15	309	150,32	0,42
3	Svar kabina-hlavní rám	355	0,9	1,15	278	494,93	1,39
4	Svar kabina-bočnice dolní	355	0,9	1,15	278	569,85	1,61
5	Svar kabina-bočnice horní	355	0,9	1,15	278	15,113	0,04
6	Svar nosiče čepu	355	0,9	1,15	278	13,293	0,04
7	Deska čelníku	355	1	1,15	309	819,91	2,31
8	Vnitřní podélník pod trakčním měničem	355	1	1,15	309	124,17	0,35
9	Lem bateriového prostoru	355	0,9	1,15	278	159,48	0,45

Tabulka 16 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zatížení 500 kN na nárazníky

Místo	Kritické místo	Mez kluzu materiálu	Koeficient svaru	Požadovaná bezpečnost	Přípustné napětí	Srovnávací napětí	Využití
		Re [MPa]	α_w [1]	S [1]	σ_p [MPa]	σ_{MISES} [MPa]	U [1]
1	Čelo pod rámem okna	355	1	1,15	309	190,03	0,54
2	Otvor v představku	355	1	1,15	309	40,393	0,11
3	Svar kabina-hlavní rám	355	0,9	1,15	278	213,73	0,60
4	Svar kabina-bočnice dolní	355	0,9	1,15	278	392,55	1,11
5	Svar kabina-bočnice horní	355	0,9	1,15	278	56,024	0,16
6	Svar nosiče čepu	355	0,9	1,15	278	35,829	0,10
7	Deska čelníku	355	1	1,15	309	210,17	0,59
8	Vnitřní podélník pod trakčním měničem	355	1	1,15	309	61,397	0,17
9	Lem bateriového prostoru	355	0,9	1,15	278	19,213	0,05

Tabulka 17 - Vypočtené napětí v kritických místech pro zatížení 400 kN na čelo vozidla

Místo	Kritické místo	Mez kluzu materiálu	Koeficient svaru	Požadovaná bezpečnost	Přípustné napětí	Srovnávací napětí	Využití
		Re [MPa]	α_w [1]	S [1]	σ_p [MPa]	σ_{MISES} [MPa]	
1	Čelo pod rámem okna	355	1	1,15	309		
2	Otvor v představku	355	1	1,15	309	43,973	0,12
3	Svar kabina-hlavní rám	355	0,9	1,15	278	205,27	0,58
4	Svar kabina-bočnice dolní	355	0,9	1,15	278	141,96	0,40
5	Svar kabina-bočnice horní	355	0,9	1,15	278	11,19	0,03
6	Svar nosiče čepu	355	0,9	1,15	278	19,786	0,06
7	Deska čelníku	355	1	1,15	309	16,745	0,05
8	Vnitřní podélník pod trakčním měničem	355	1	1,15	309	118,87	0,33
9	Lem bateriového prostoru	355	0,9	1,15	278	42,201	0,12

Tabulka 18 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zatížení 300 kN na čele

Místo	Kritické místo	Mez kluzu materiálu	Koeficient svaru	Požadovaná bezpečnost	Přípustné napětí	Srovnávací napětí	Využití
		Re [MPa]	α_w [1]	S [1]	σ_p [MPa]	σ_{MISES} [MPa]	
1	Čelo pod rámem okna	355	1	1,15	309		
2	Otvor v představku	355	1	1,15	309	45,606	0,13
3	Svar kabina-hlavní rám	355	0,9	1,15	278	112,64	0,32
4	Svar kabina-bočnice dolní	355	0,9	1,15	278	88,129	0,25
5	Svar kabina-bočnice horní	355	0,9	1,15	278	88,555	0,25
6	Svar nosiče čepu	355	0,9	1,15	278	18,081	0,05
7	Deska čelníku	355	1	1,15	309	23,575	0,07
8	Vnitřní podélník pod trakčním měničem	355	1	1,15	309	111,27	0,31
9	Lem bateriového prostoru	355	0,9	1,15	278	30,004	0,08

Tabulka 19 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zrychlení podvozku

Místo	Kritické místo	Mez kluzu materiálu	Koeficient svaru	Požadovaná bezpečnost	Přípustné napětí	Srovnávací napětí	Využití
		Re [MPa]	α_w [1]	S [1]	σ_p [MPa]	σ_{MISES} [MPa]	
1	Čelo pod rámem okna	355	1	1,15	309	31,738	0,09
2	Otvor v představku	355	1	1,15	309	34,207	0,10
3	Svar kabina-hlavní rám	355	0,9	1,15	278	121,67	0,34
4	Svar kabina-bočnice dolní	355	0,9	1,15	278	508,64	1,43
5	Svar kabina-bočnice horní	355	0,9	1,15	278	64,707	0,18
6	Svar nosiče čepu	355	0,9	1,15	278	1 177,3	3,32
7	Deska čelníku	355	1	1,15	309	36,166	0,10
8	Vnitřní podélník pod trakčním měničem	355	1	1,15	309	172,15	0,48
9	Lem bateriového prostoru	355	0,9	1,15	278	100,69	0,28

Tabulka 20 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zpomalení podvozku

Místo	Kritické místo	Mez kluzu materiálu	Koeficient svaru	Požadovaná bezpečnost	Přípustné napětí	Srovnávací napětí	Využití
		Re [MPa]	α_w [1]	S [1]	σ_p [MPa]	σ_{MISES} [MPa]	
1	Čelo pod rámem okna	355	1	1,15	309	24,481	0,07
2	Otvor v představku	355	1	1,15	309	18,628	0,05
3	Svar kabina-hlavní rám	355	0,9	1,15	278	109,07	0,31
4	Svar kabina-bočnice dolní	355	0,9	1,15	278	460,56	1,30
5	Svar kabina-bočnice horní	355	0,9	1,15	278	64,62	0,18
6	Svar nosiče čepu	355	0,9	1,15	278	1 352,7	3,81
7	Deska čelníku	355	1	1,15	309	18,968	0,05
8	Vnitřní podélník pod trakčním měničem	355	1	1,15	309	164,14	0,46
9	Lem bateriového prostoru	355	0,9	1,15	278	92,995	0,26



Tabulka 21 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zvedání celého vozidla

Místo	Kritické místo	Mez kluzu materiálu	Koeficient svaru	Požadovaná bezpečnost	Přípustné napětí	Srovnávací napětí	Využití
		Re [MPa]	α_w [1]	S [1]	σ_p [MPa]	σ_{MISES} [MPa]	U [1]
1	Čelo pod rámem okna	355	1	1,15	309	190,03	0,54
2	Otvor v představku	355	1	1,15	309	40,393	0,11
3	Svar kabina-hlavní rám	355	0,9	1,15	278	213,73	0,60
4	Svar kabina-bočnice dolní	355	0,9	1,15	278	392,55	1,11
5	Svar kabina-bočnice horní	355	0,9	1,15	278	56,024	0,16
6	Svar nosiče čepu	355	0,9	1,15	278	35,829	0,10
7	Deska čelníku	355	1	1,15	309	210,17	0,59
8	Vnitřní podélník pod trakčním měničem	355	1	1,15	309	61,397	0,17
9	Lem bateriového prostoru	355	0,9	1,15	278	19,213	0,05



C: Hrubá stavba s Al bočnicí

Equivalent Stress

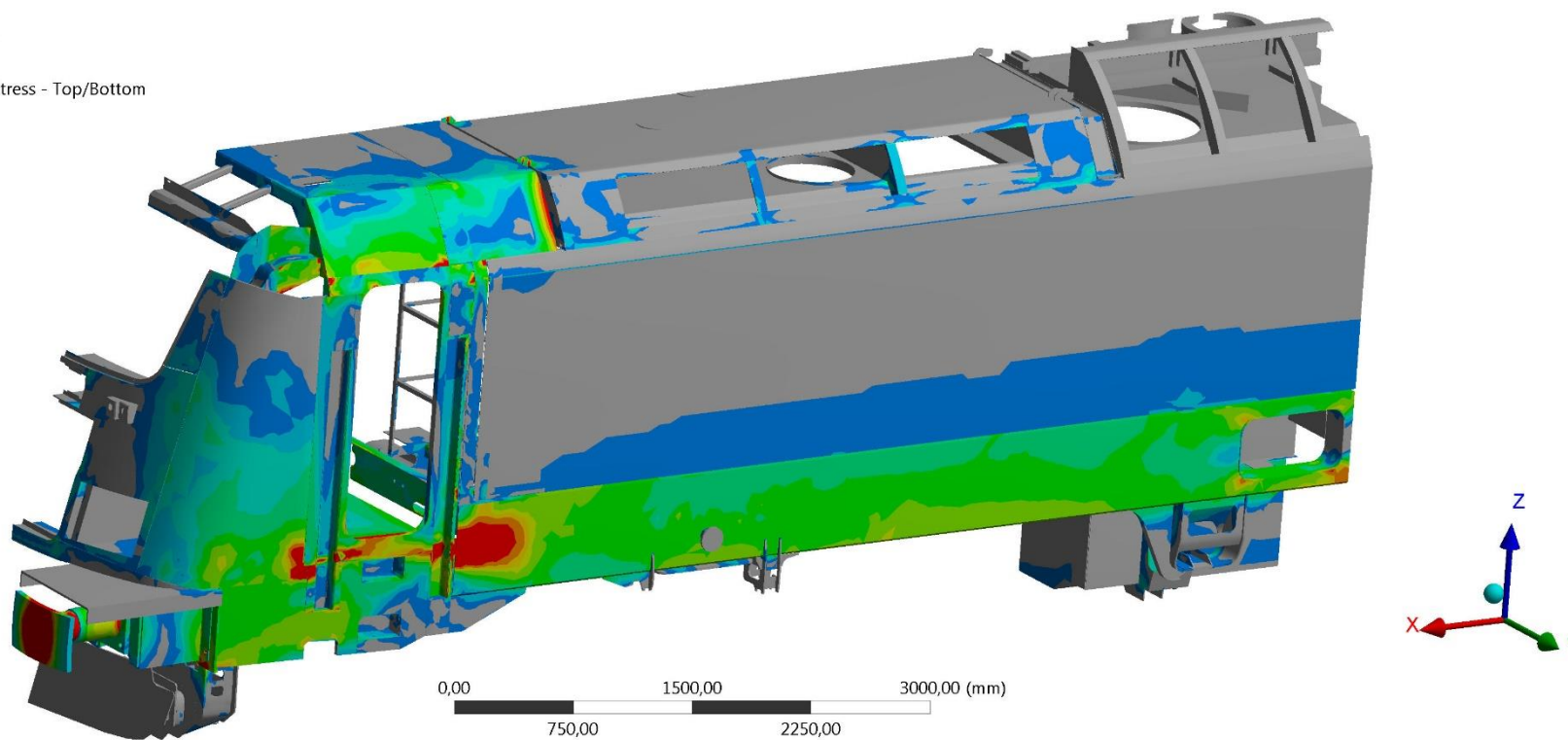
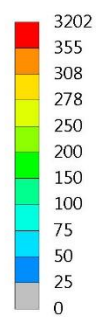
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

Max: 3202

Min: 8,971e-5



Obrázek 84 - Zatížení 2 000 kN na nárazníky



C: Hrubá stavba s Al bočnicí

Equivalent Stress

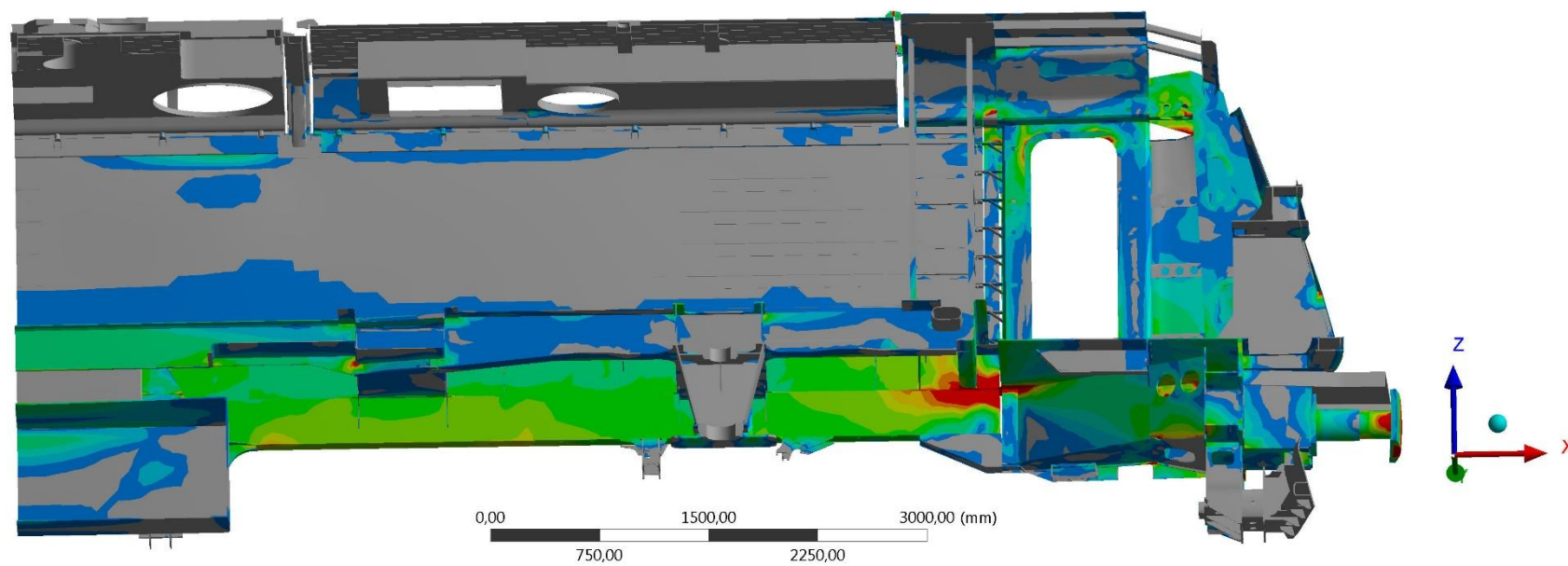
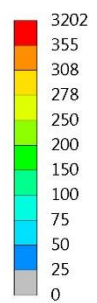
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

Max: 3202

Min: 8,971e-5



Obrázek 85 - Zatížení 2 000 kN na nárazníky



C: Hrubá stavba s Al bočnicí

Equivalent Stress

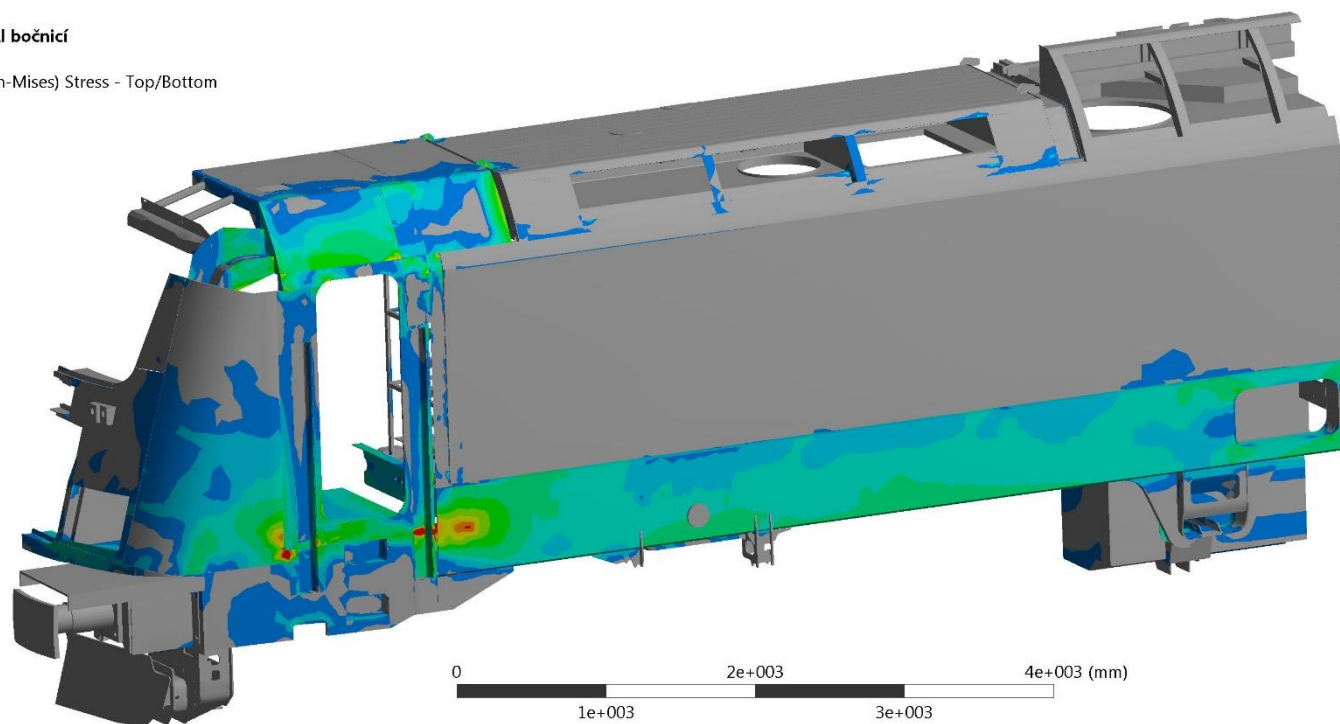
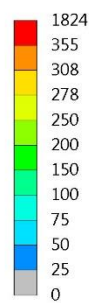
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

Max: 1824

Min: 8,956e-5



Obrázek 86 - Zatížení 2 000 kN na spřáhlo



C: Hrubá stavba s Al bočnicí

Equivalent Stress

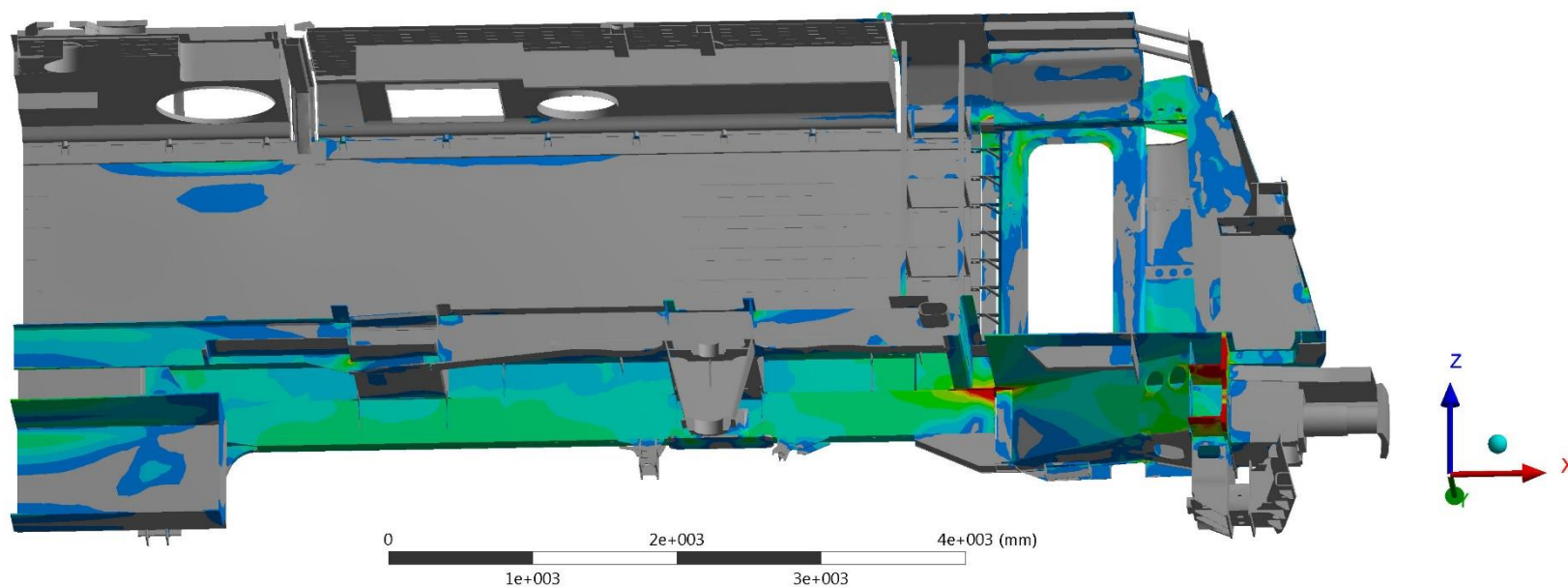
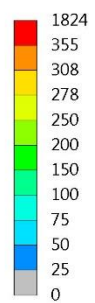
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

Max: 1824

Min: 8,956e-5



Obrázek 87 - Zatížení 2 000 kN na spřáhlo



C: Hrubá stavba s AI bočnicí

Equivalent Stress

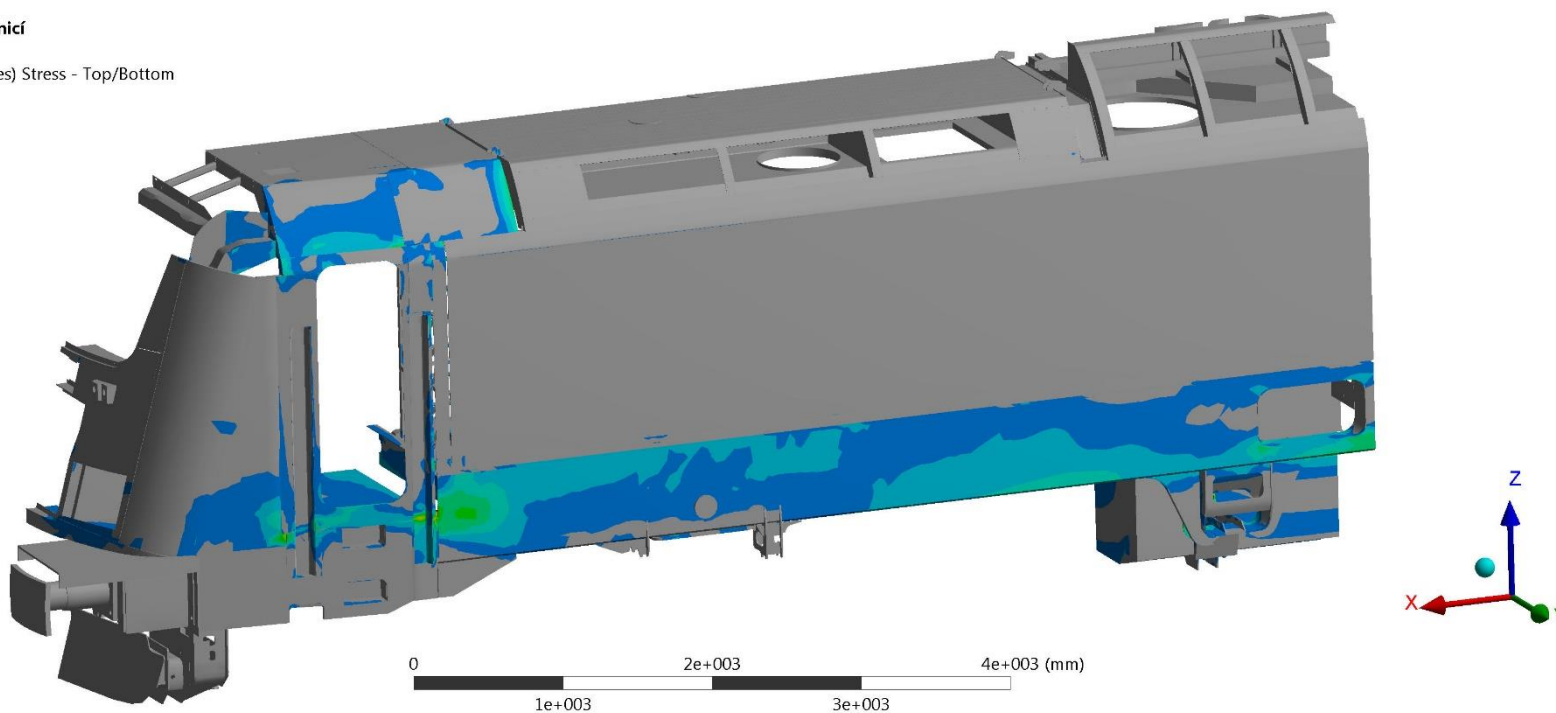
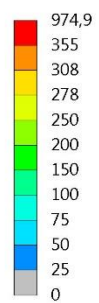
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

Max: 974,9

Min: 8,932e-5



Obrázek 88 – Zatížení 1 000 kN na spřáhlo



C: Hrubá stavba s Al bočnicí

Equivalent Stress

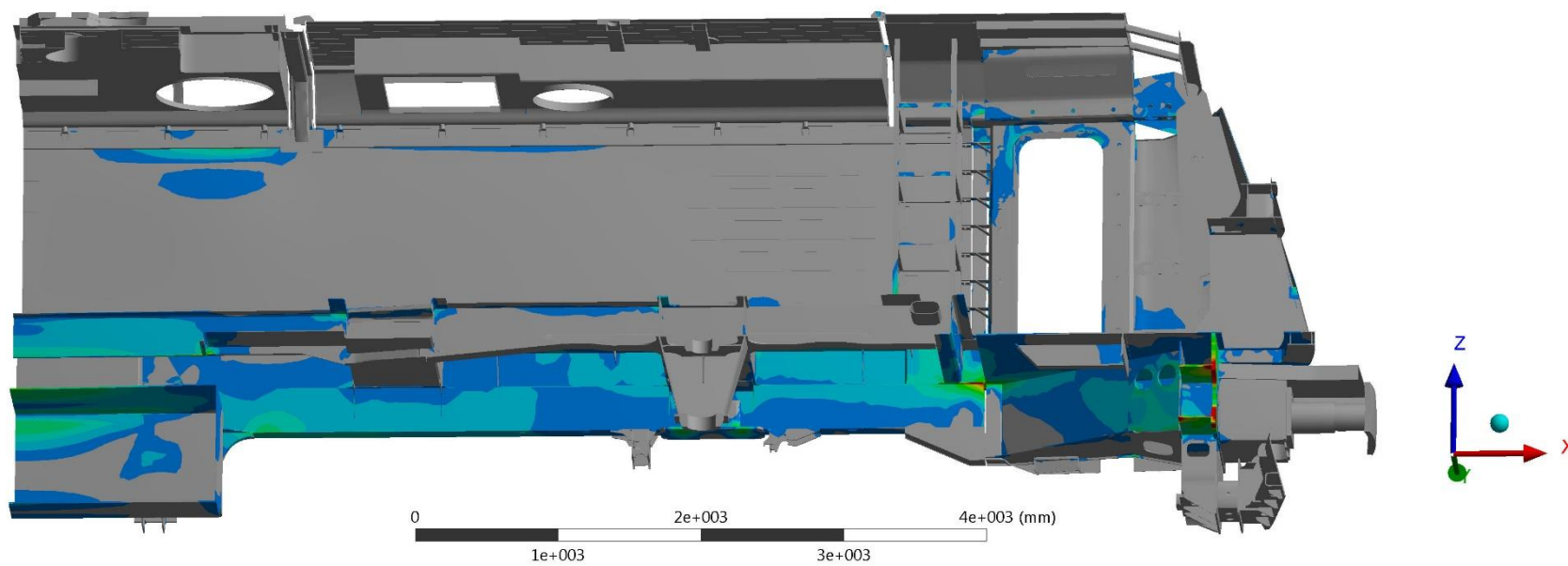
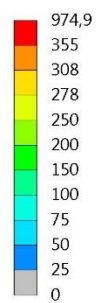
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

Max: 974,9

Min: 8,932e-5



Obrázek 89 - Zatížení 1 000 kN na spřáhlo



C: Hrubá stavba s Al bočnicí

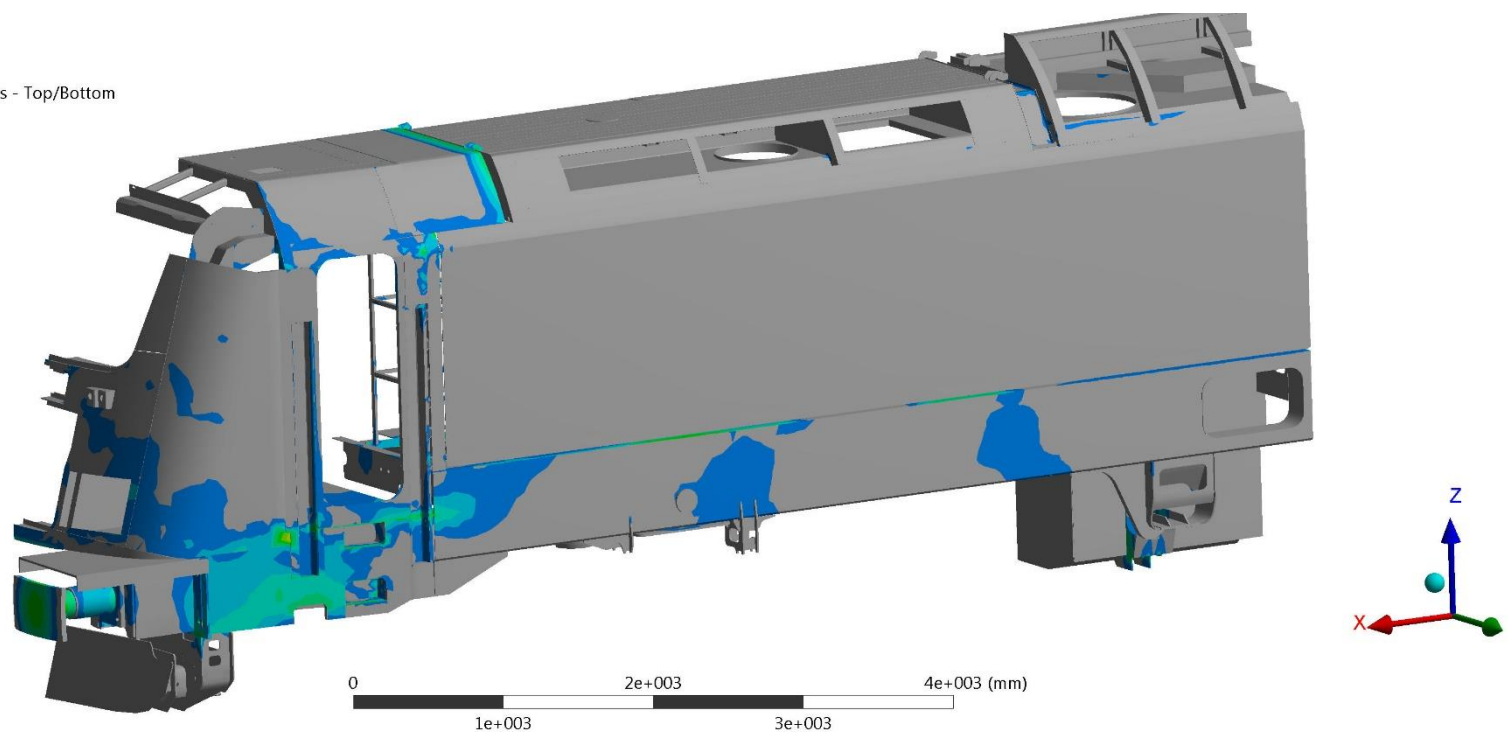
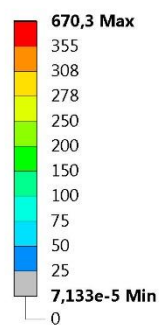
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

18.7.2016 9:09



Obrázek 90 - Zatížení 500 kN na nárazníky na diagonále



C: Hrubá stavba s Al bočnicí

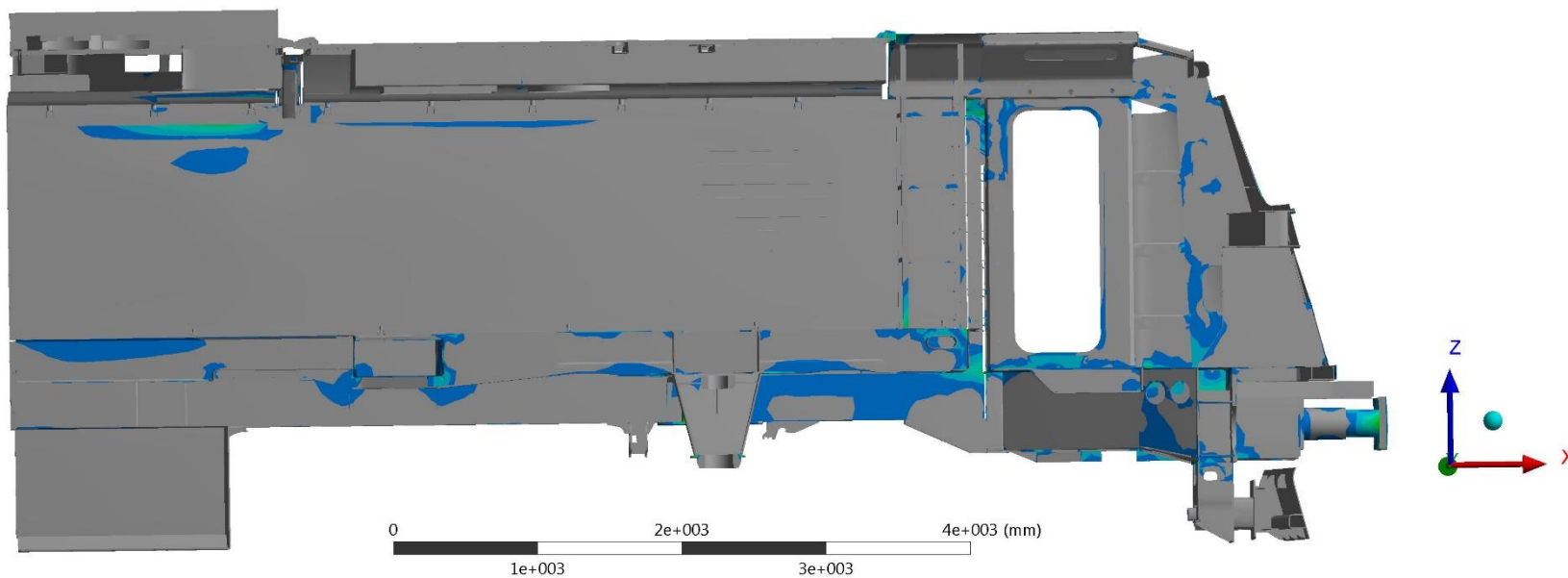
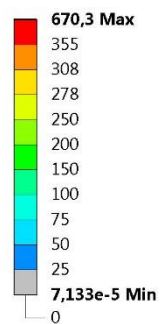
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

18.7.2016 9:10



Obrázek 91 - Zatížení 500 kN na nárazníky na diagonále



C: Hrubá stavba s AI bočnicí

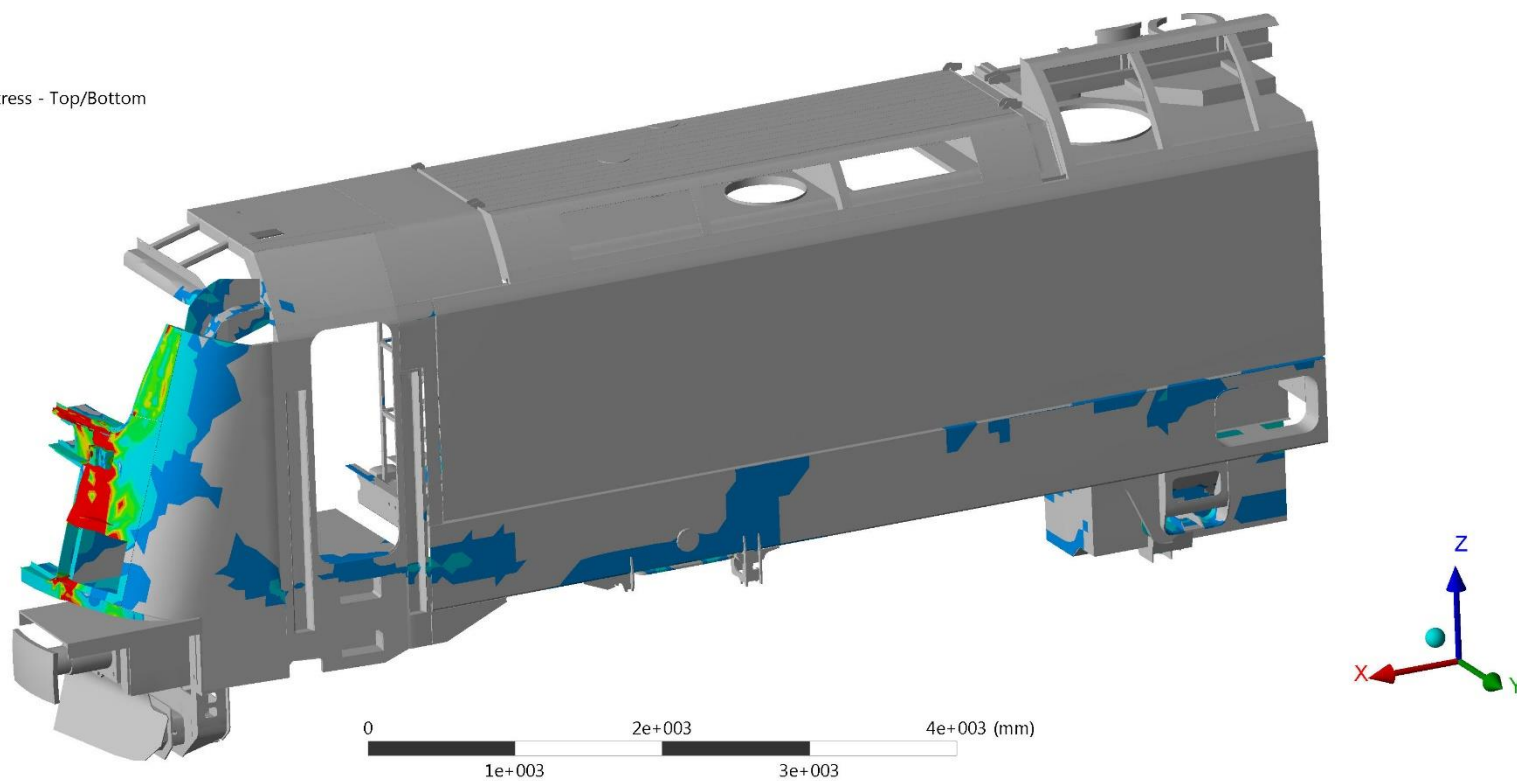
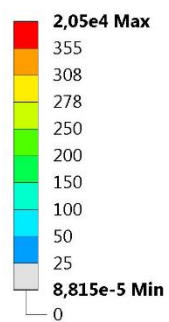
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

18.7.2016 20:24



Obrázek 92 - Zatížení 400 kN na čelo 150 mm nad podlahou



C: Hrubá stavba s AI bočnicí

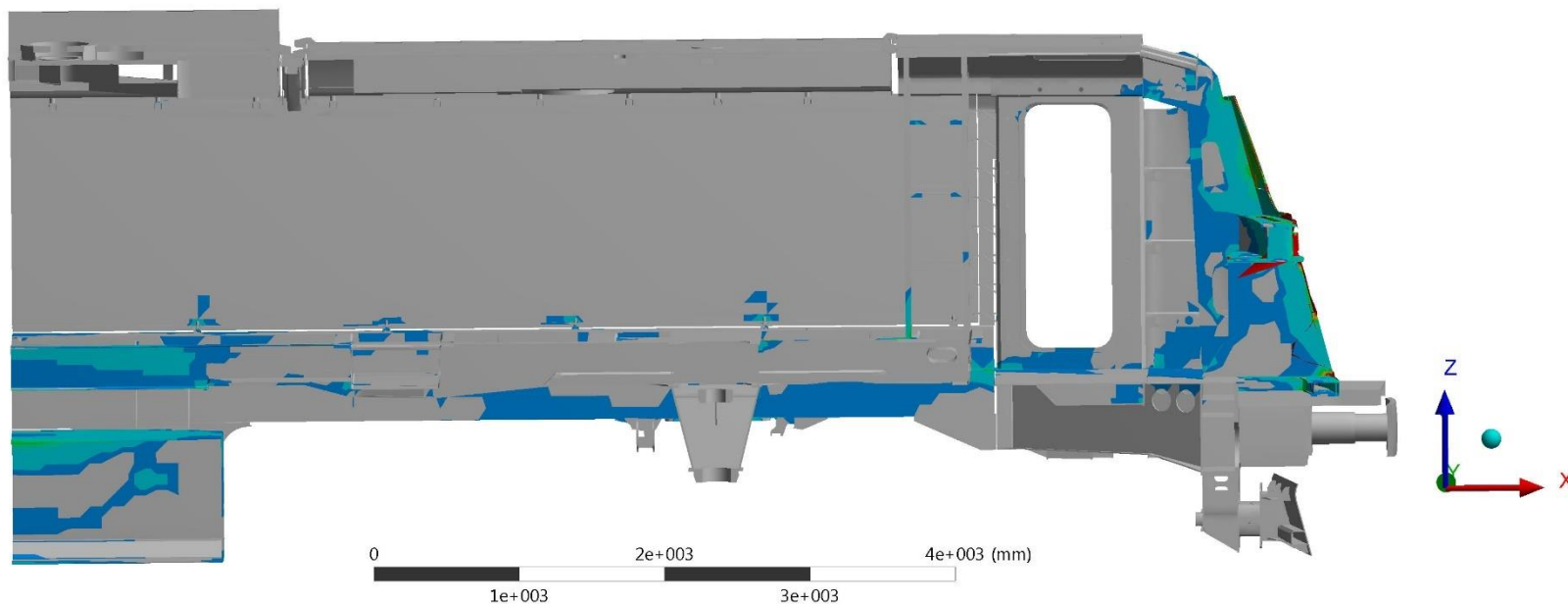
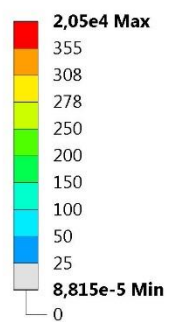
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

18.7.2016 20:25



Obrázek 93 - Zatížení 400 kN na čelo 150 mm nad podlahou



C: Hrubá stavba s AI bočnicí

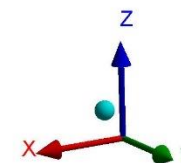
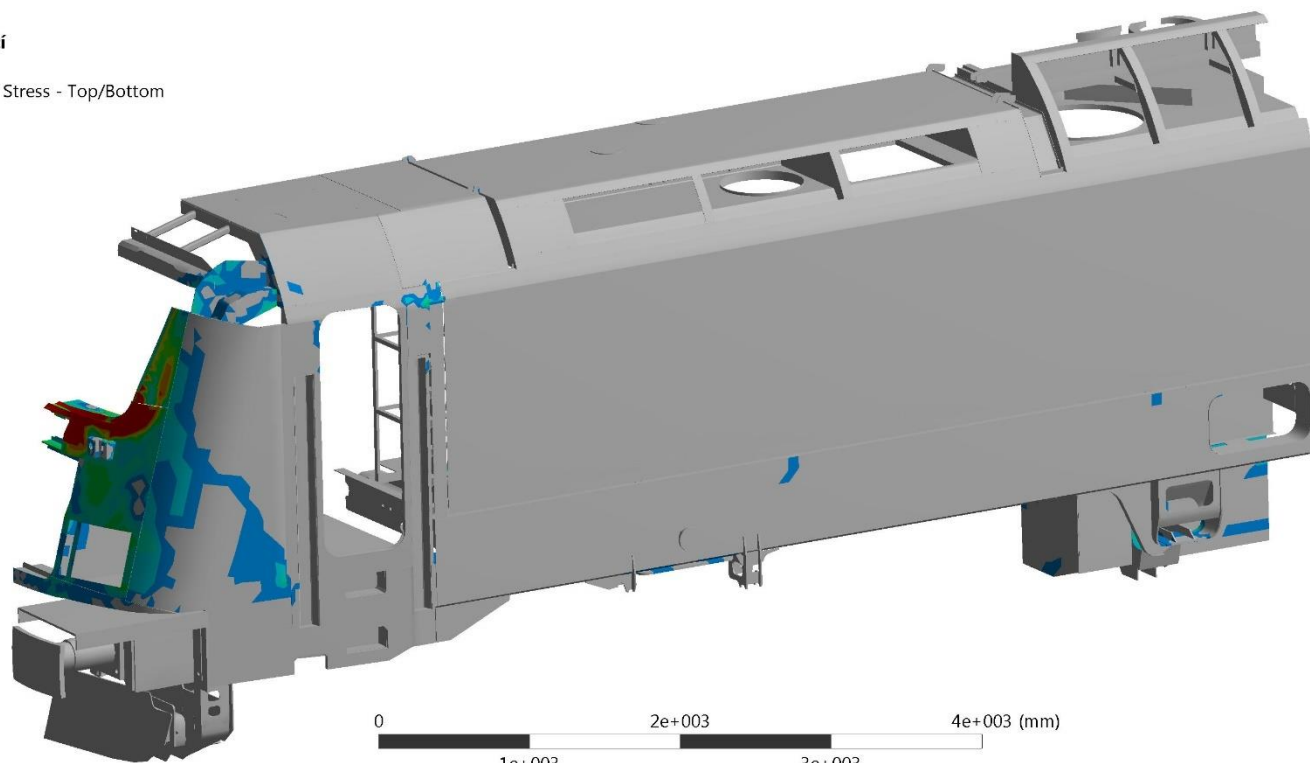
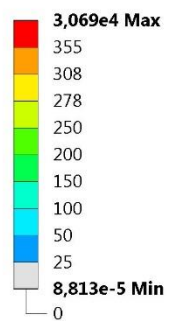
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

18.7.2016 20:51



Obrázek 94 - Zatížení 300 kN na čelo pod rámem okna



C: Hrubá stavba s AI bočnicí

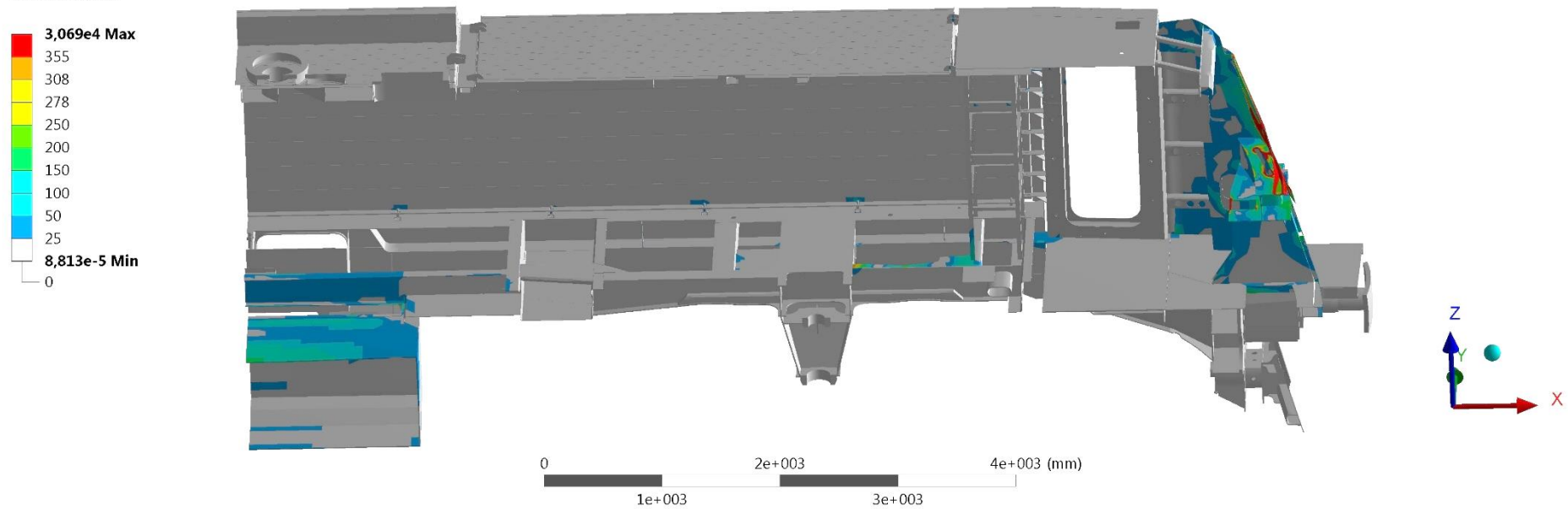
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

18.7.2016 20:52



Obrázek 95 - Zatížení 300 kN na čelo pod rámem okna



C: Hrubá stavba s AI bočnicí

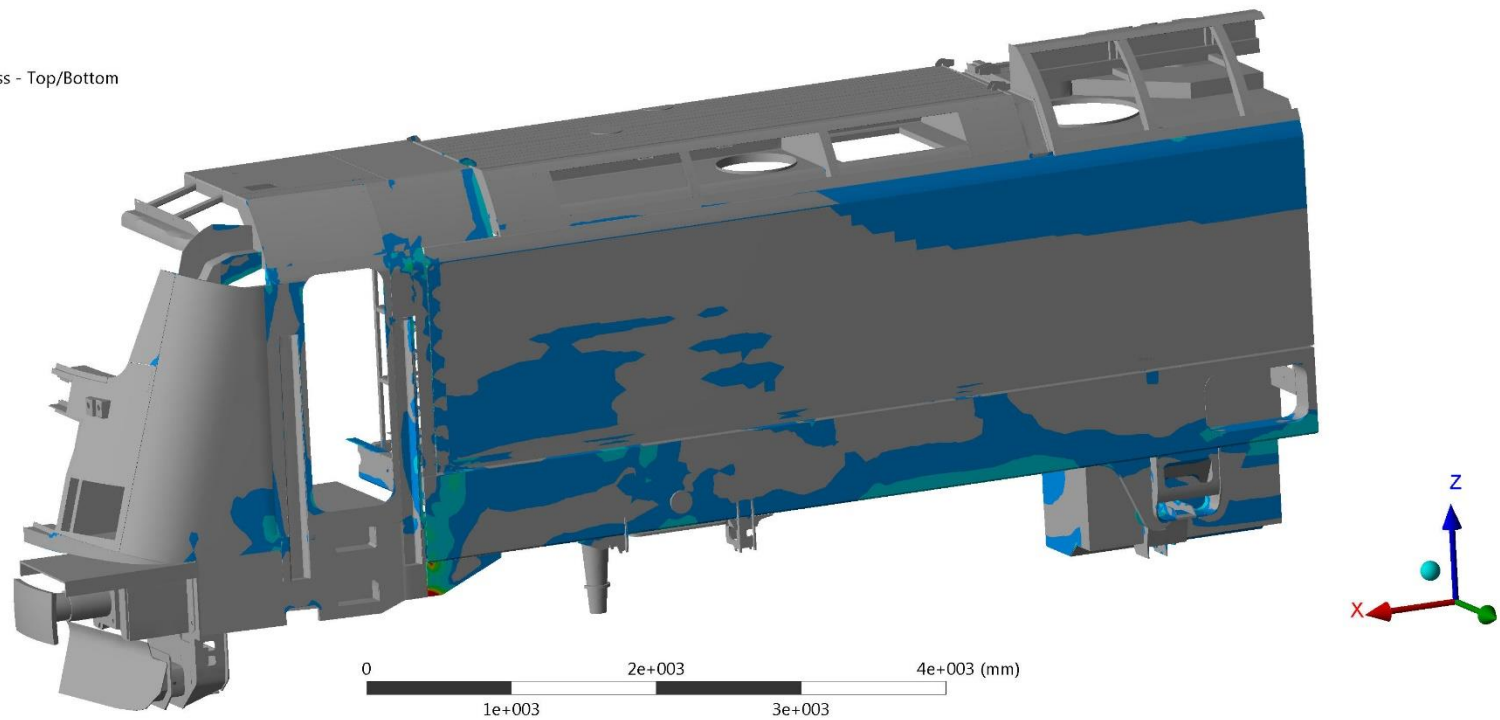
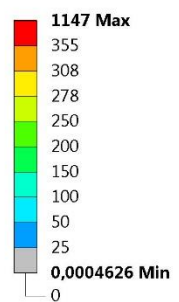
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

18.7.2016 17:20



Obrázek 96 - Zvedání celého vozidla na stanovených zvedacích místech



C: Hrubá stavba s Al bočnicí

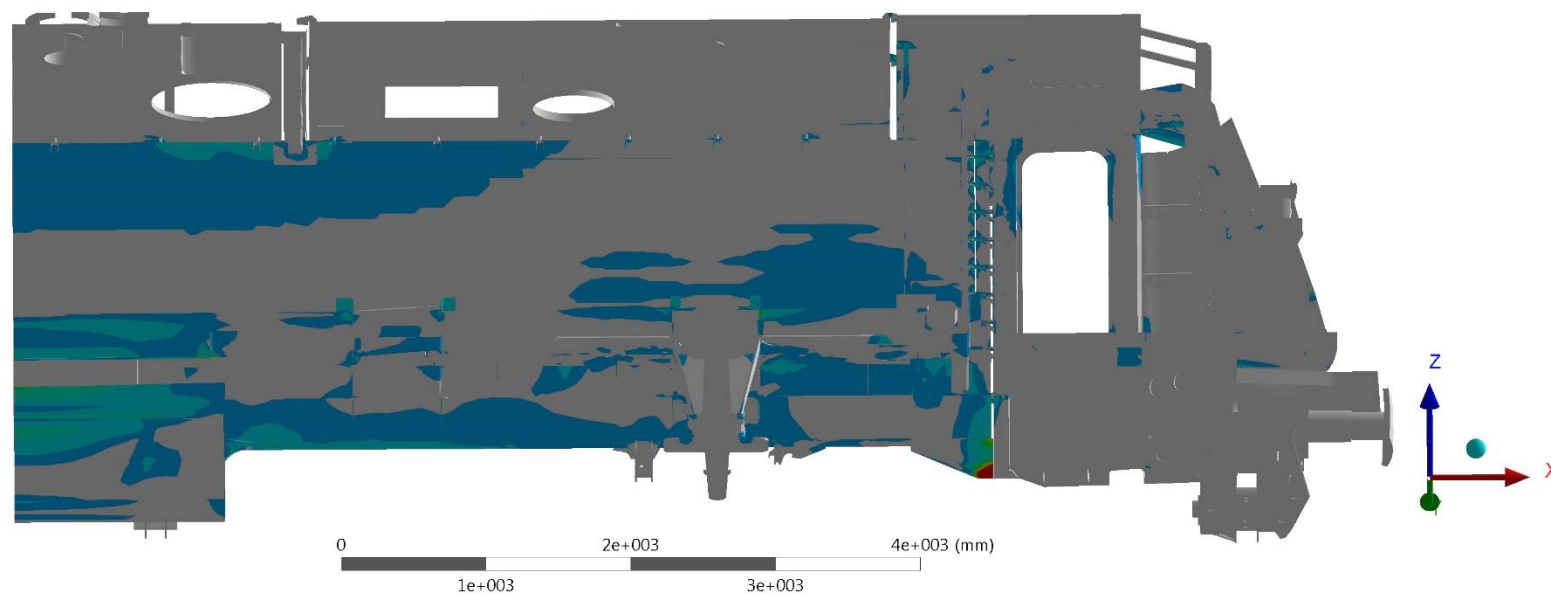
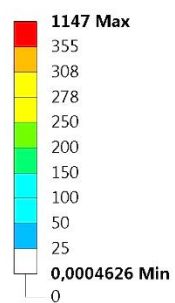
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

18.7.2016 17:21



Obrázek 97 - Zvedání celého vozidla ve stanovených zvedacích místech



B: Hrubá stavba s Al bočnicí

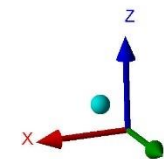
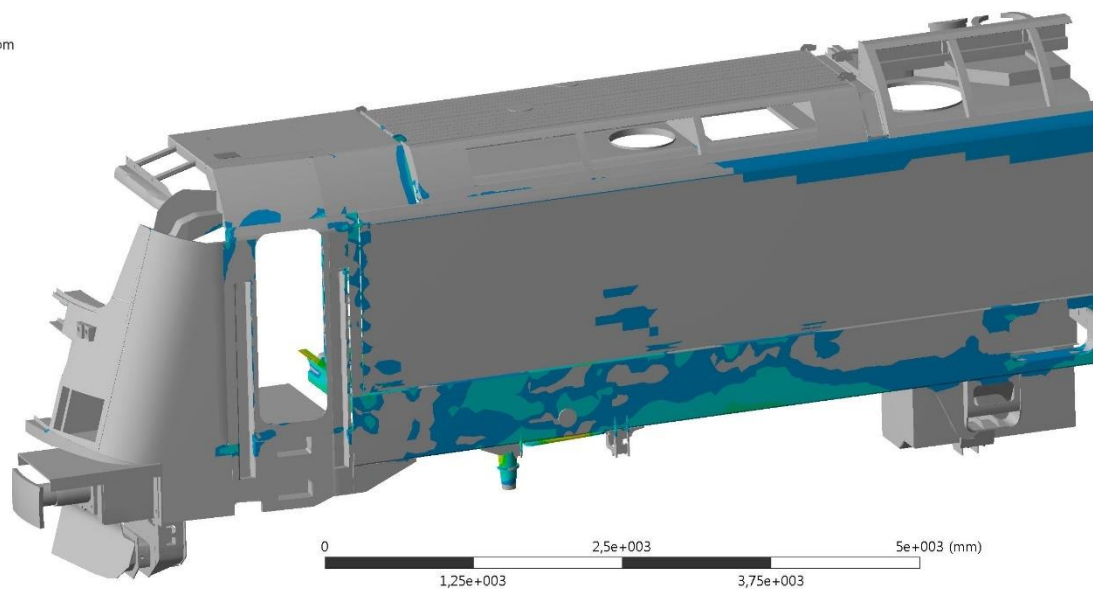
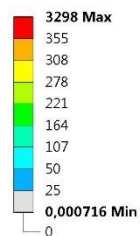
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von Mises) Stress - Top/Bottom

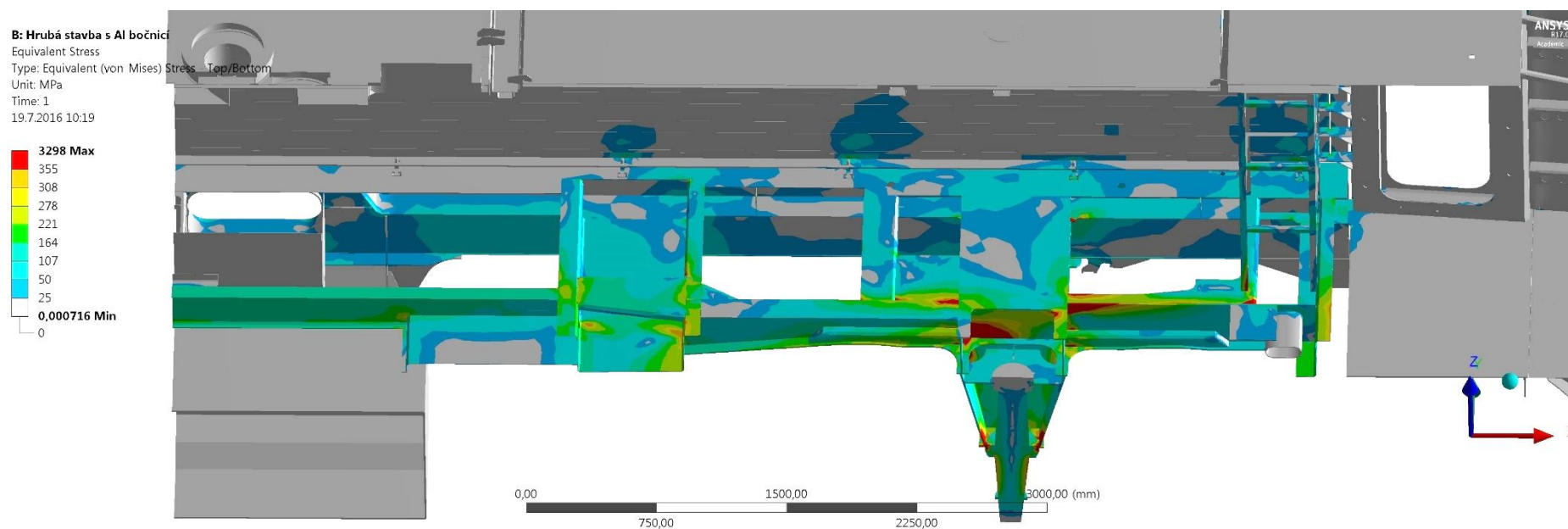
Unit: MPa

Time: 1

19.7.2016 10:18



Obrázek 98 - Zrychlení podvozku +3.g ve směru osy „X“



Obrázek 99 - Zrychlení podvozku +3.g ve směru osy „x“



B: Hrubá stavba s AI božnicí

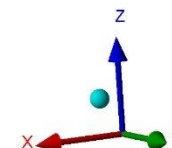
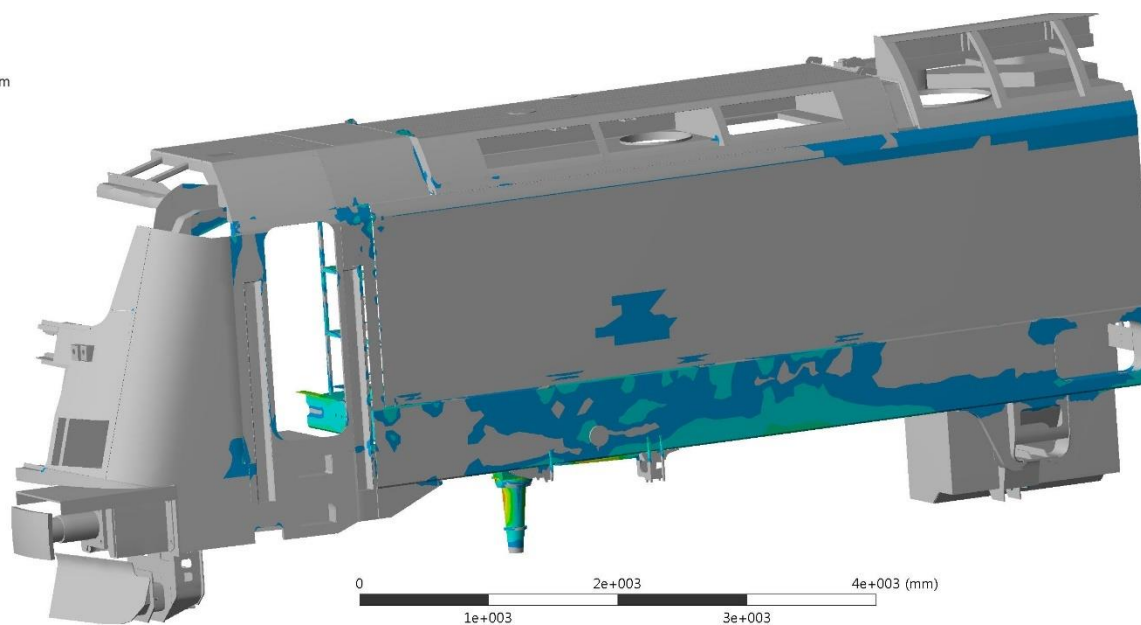
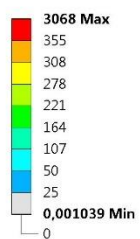
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

19.7.2016 10:36

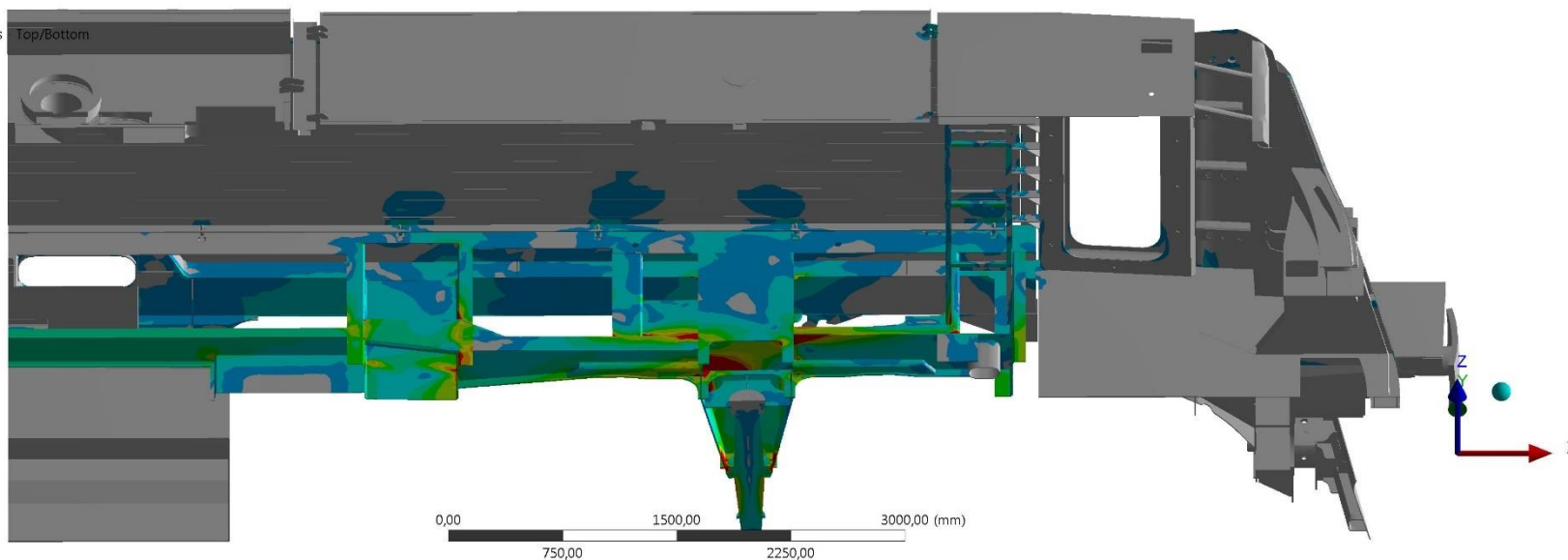
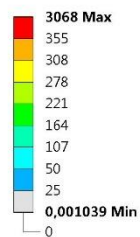


Obrázek 100 - Zrychlení podvozku -3.g ve směru osy „x“



B: Hrubá stavba s AI božnicí

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
19.7.2016 10:37



Obrázek 101 - Zrychlení podvozku -3.g ve směru osy „x“



B: Hrubá stavba s AI bočnicí

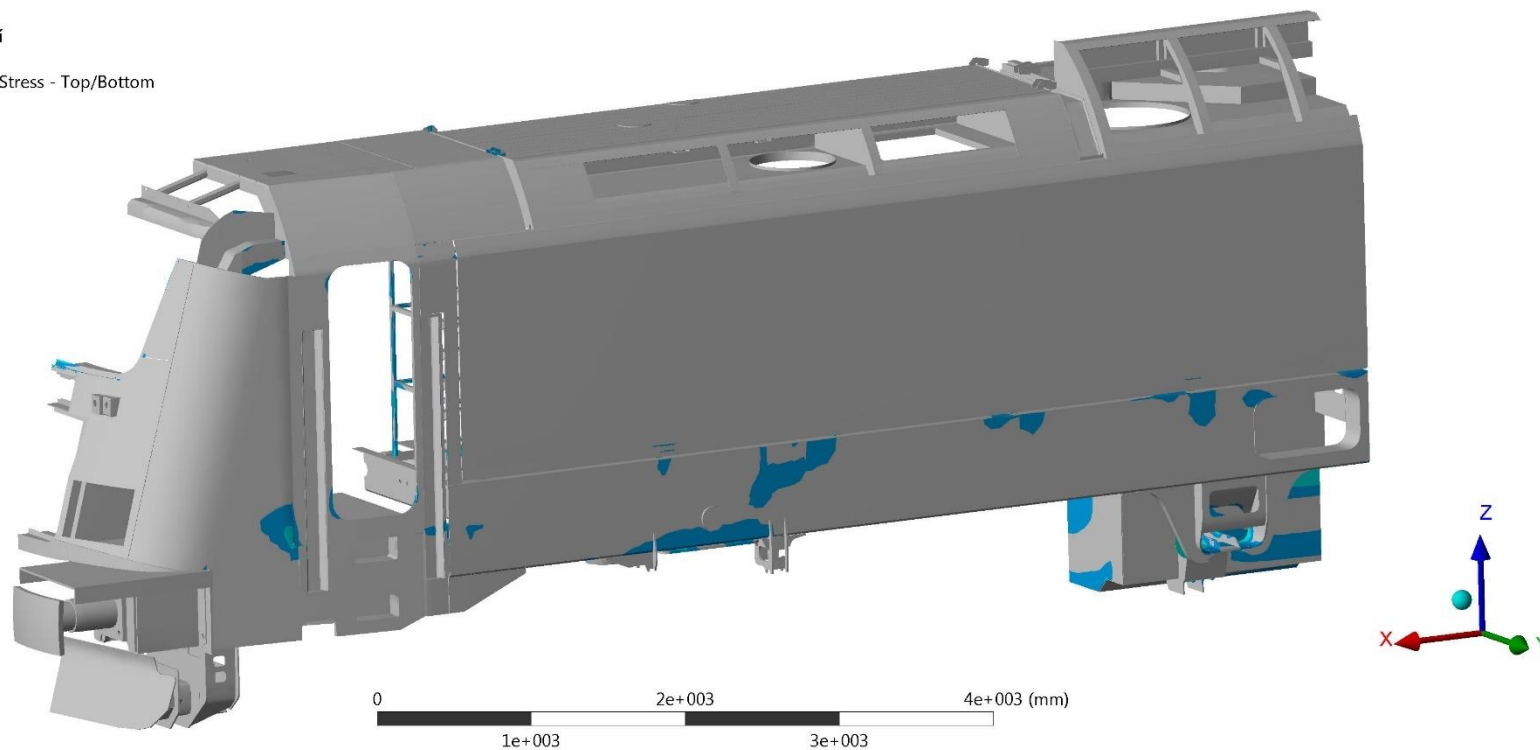
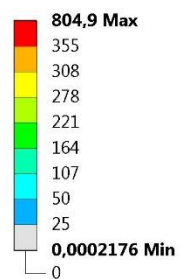
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

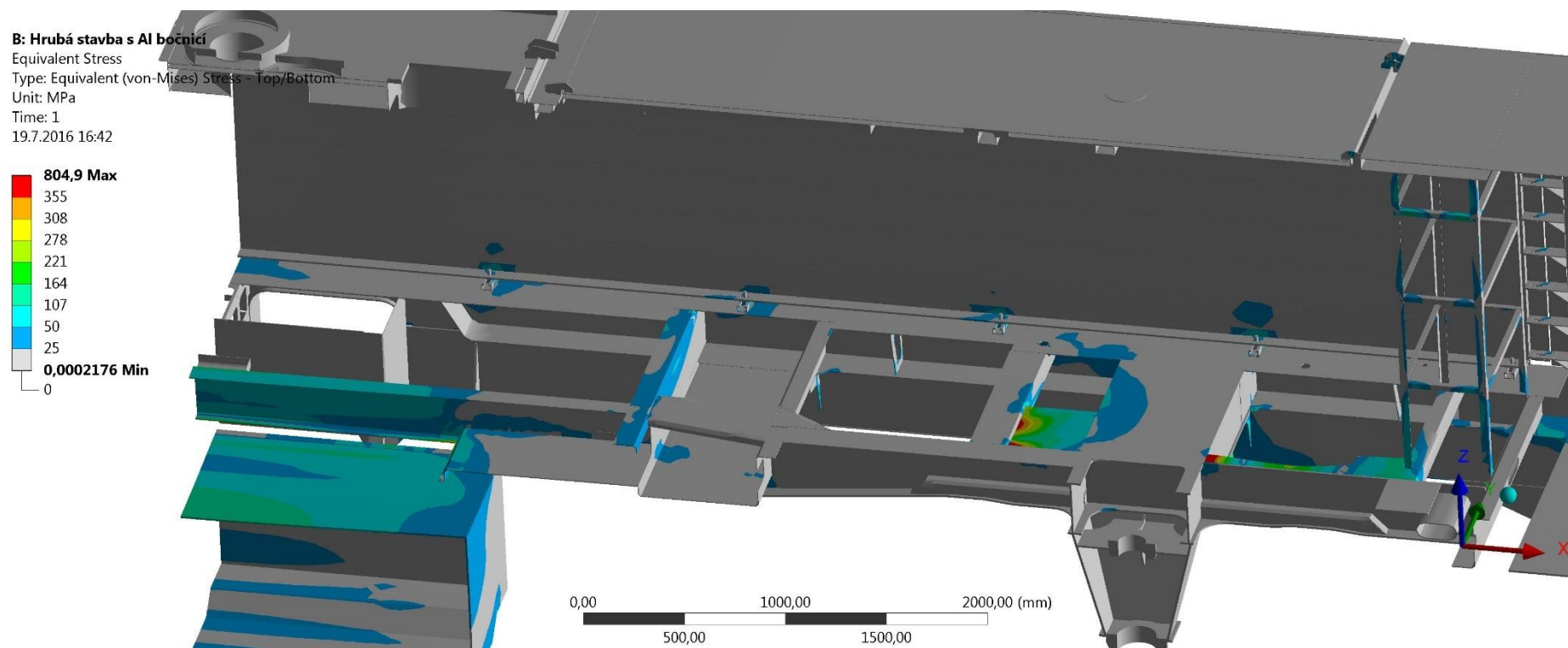
Unit: MPa

Time: 1

19.7.2016 16:42



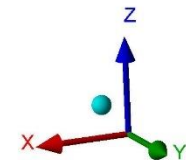
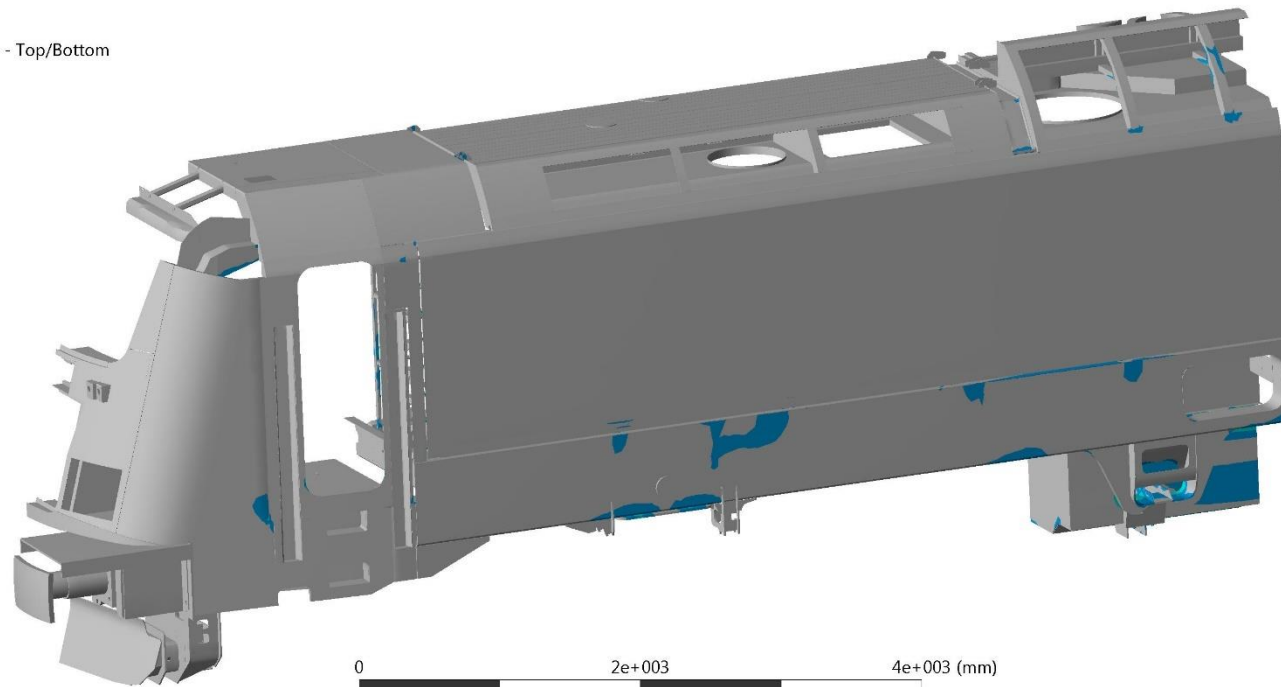
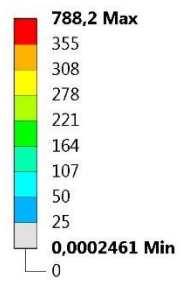
Obrázek 102 - Mezní zatížení úchytů „x“



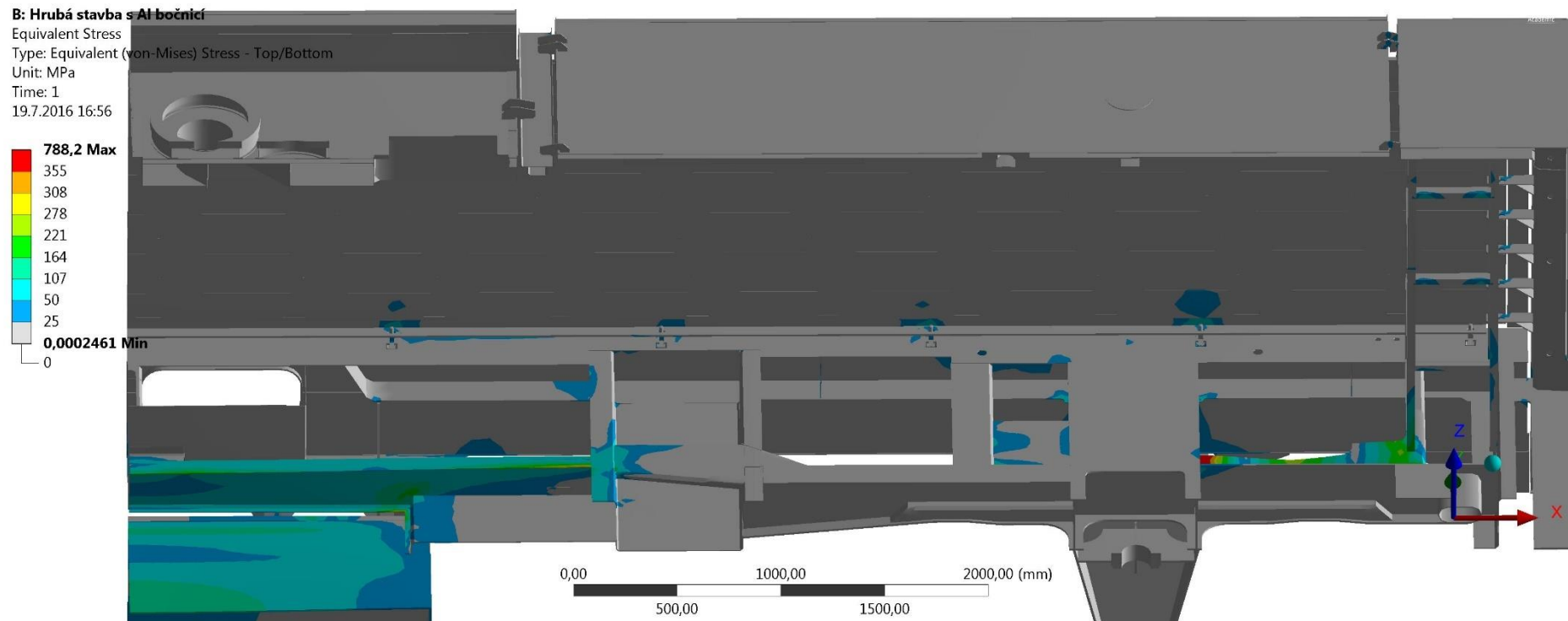
Obrázek 103 - Mezní zatížení úchytů „x“



B: Hrubá stavba s Al bočnicí
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1
19.7.2016 16:55



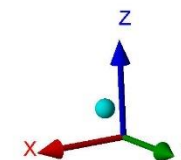
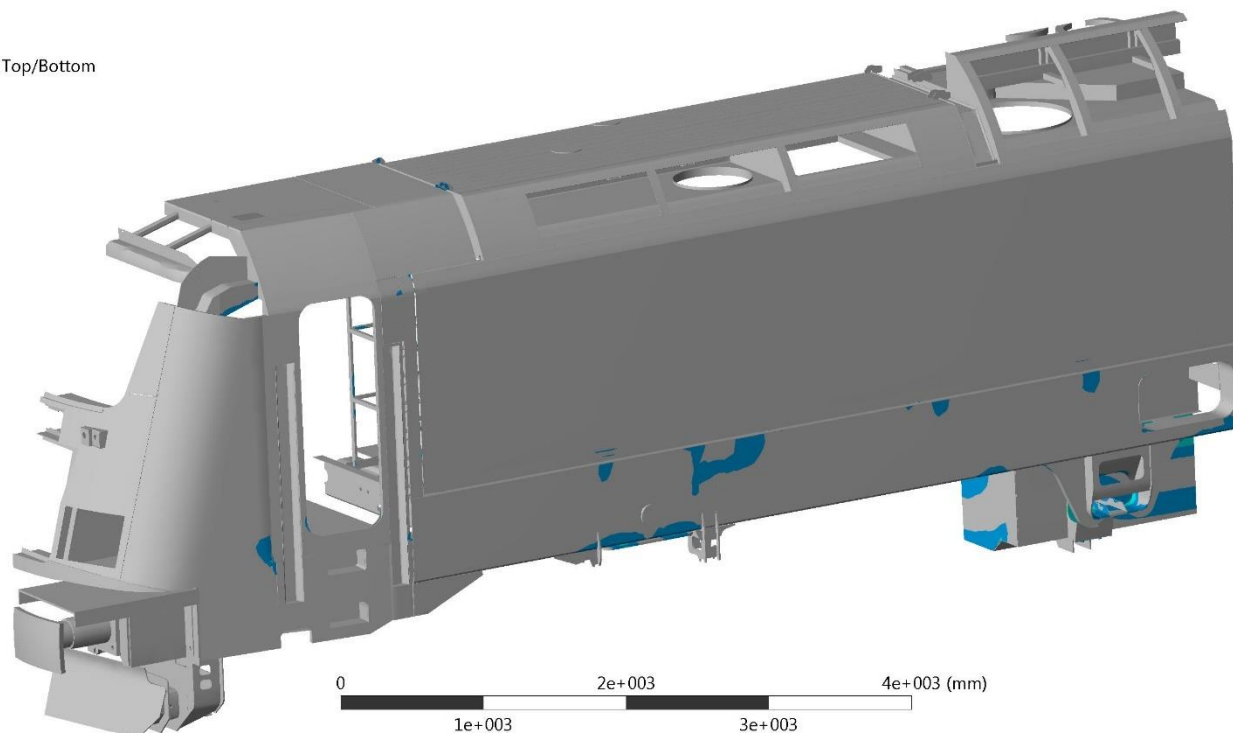
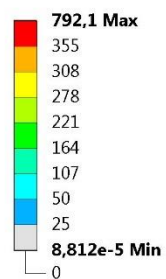
Obrázek 104 - Mezní zatížení úchytů „y“



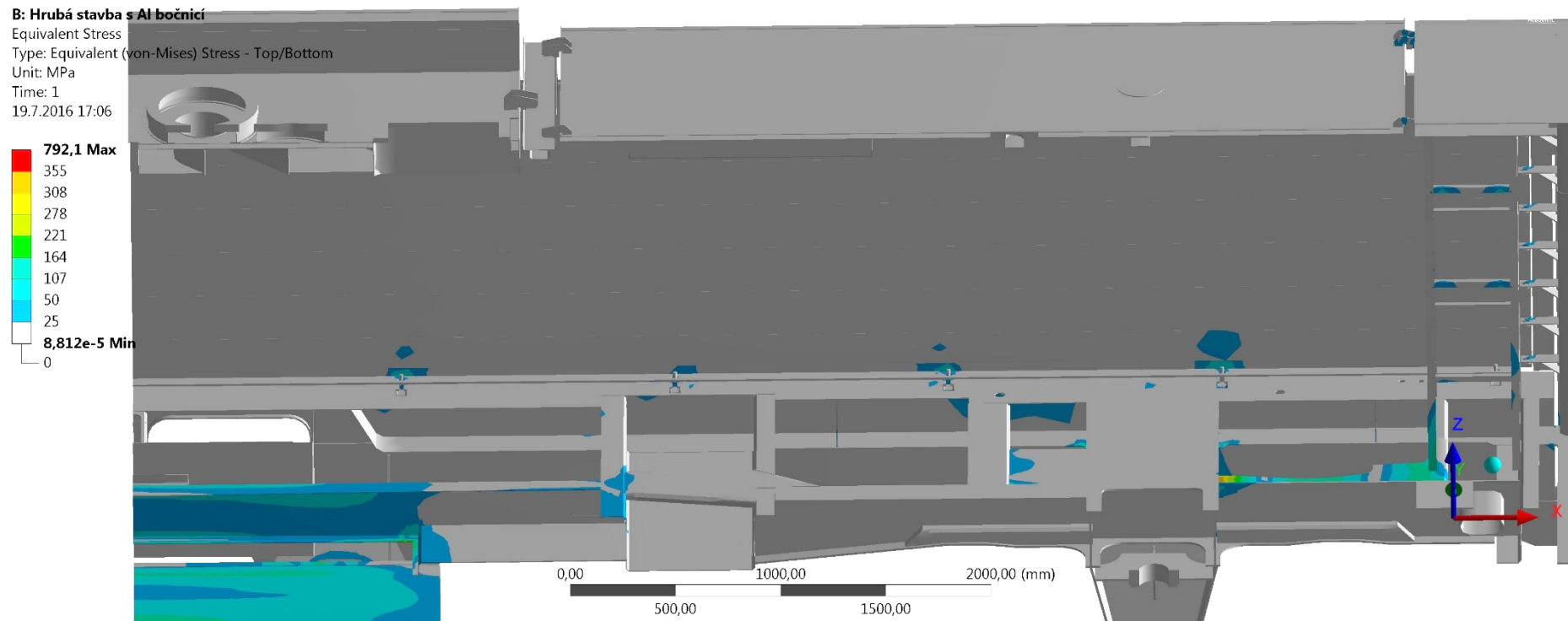
Obrázek 105 - Mezní zatížení úchytů „y“



B: Hrubá stavba s Al bočnicí
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1
19.7.2016 17:06



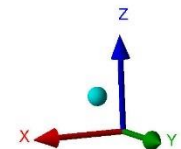
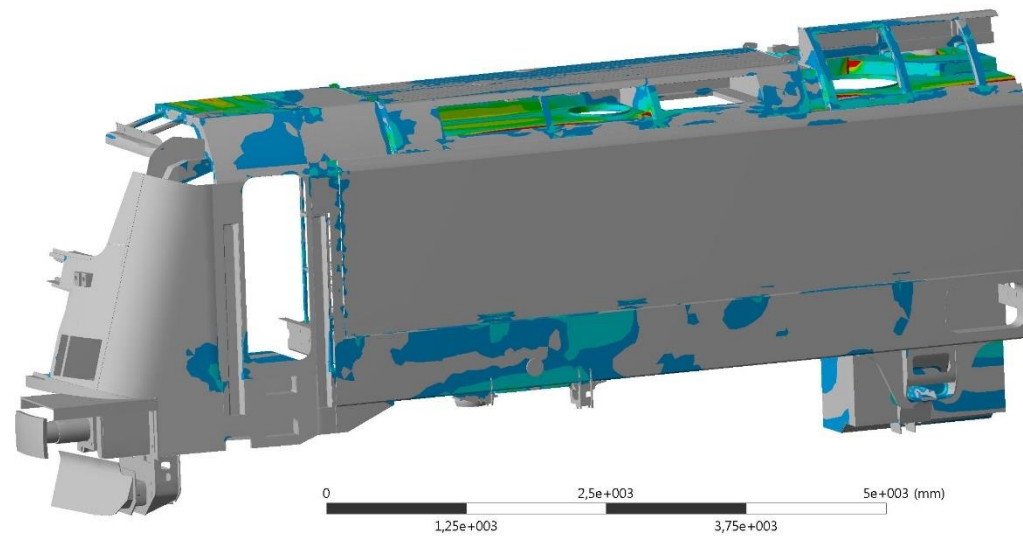
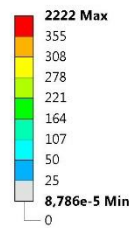
Obrázek 106 - Mezní zatížení úchytů „z“



Obrázek 107 - Mezní zatížení úchytů „z“



B: Hrubá stavba s Al bočnicí
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
Unit: MPa
Time: 1
19.7.2016 11:19



Obrázek 108 - Zatížení skříně vnitřním přetlakem 3 800 Pa



B: Hrubá stavba s Al bočnicí

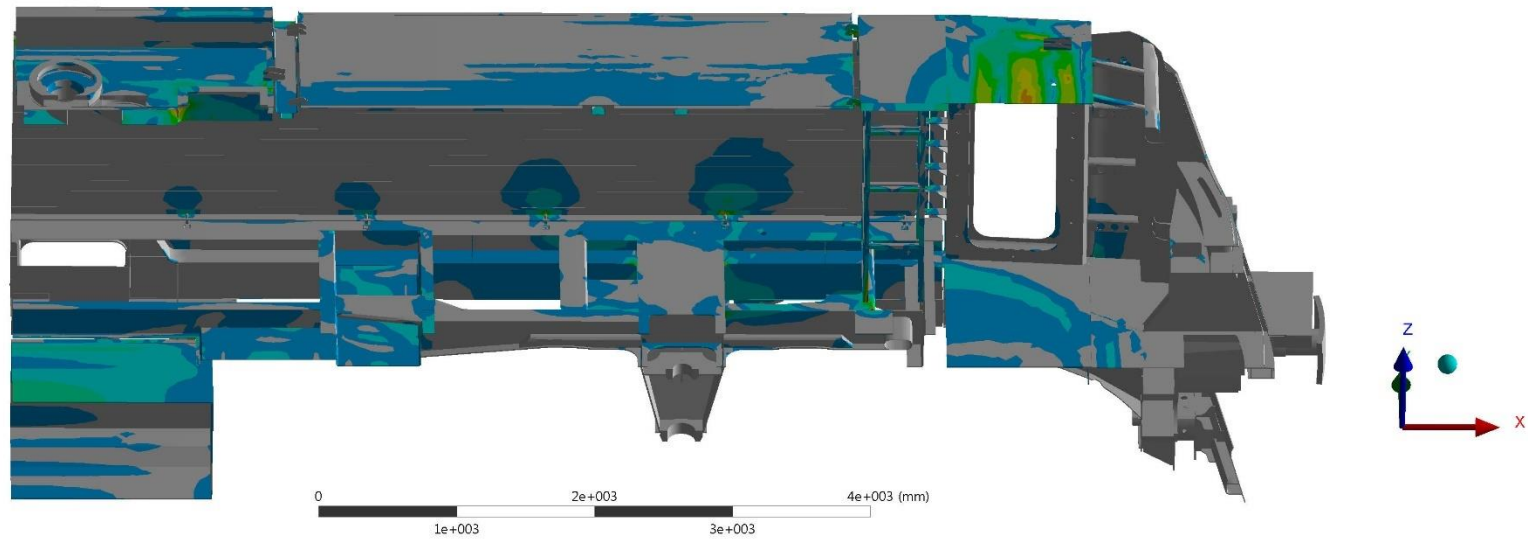
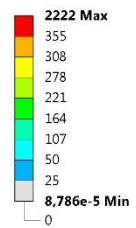
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

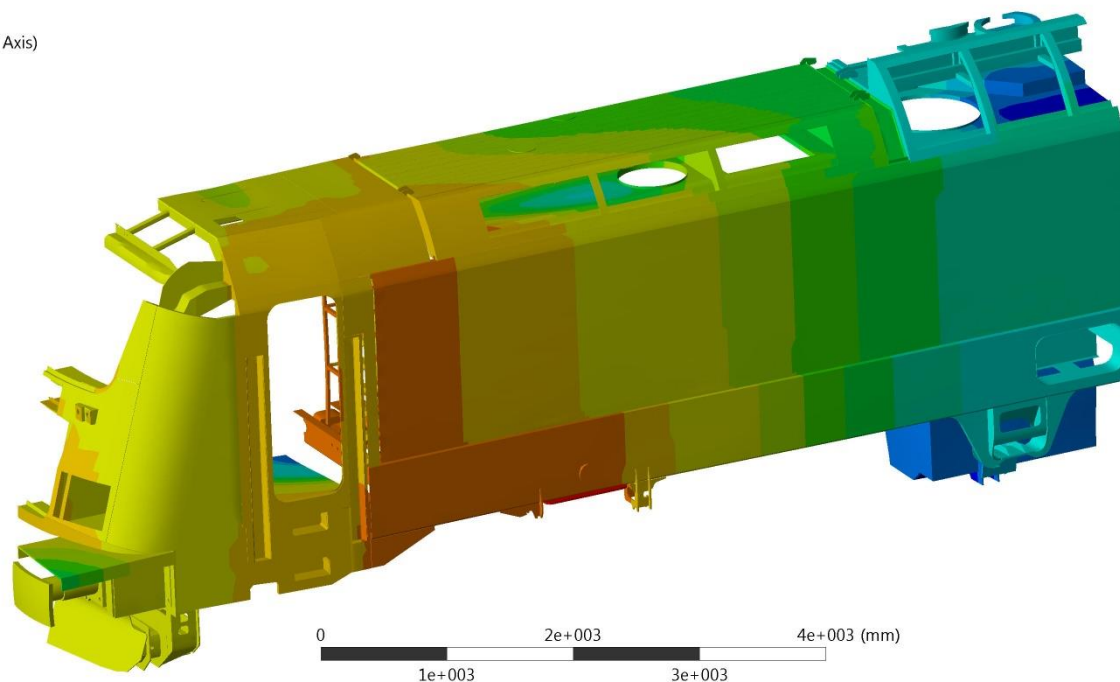
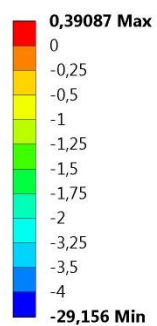
Time: 1

19.7.2016 11:20



Obrázek 109 - Zatížení skříně vnitřním přetlakem 3 800 Pa

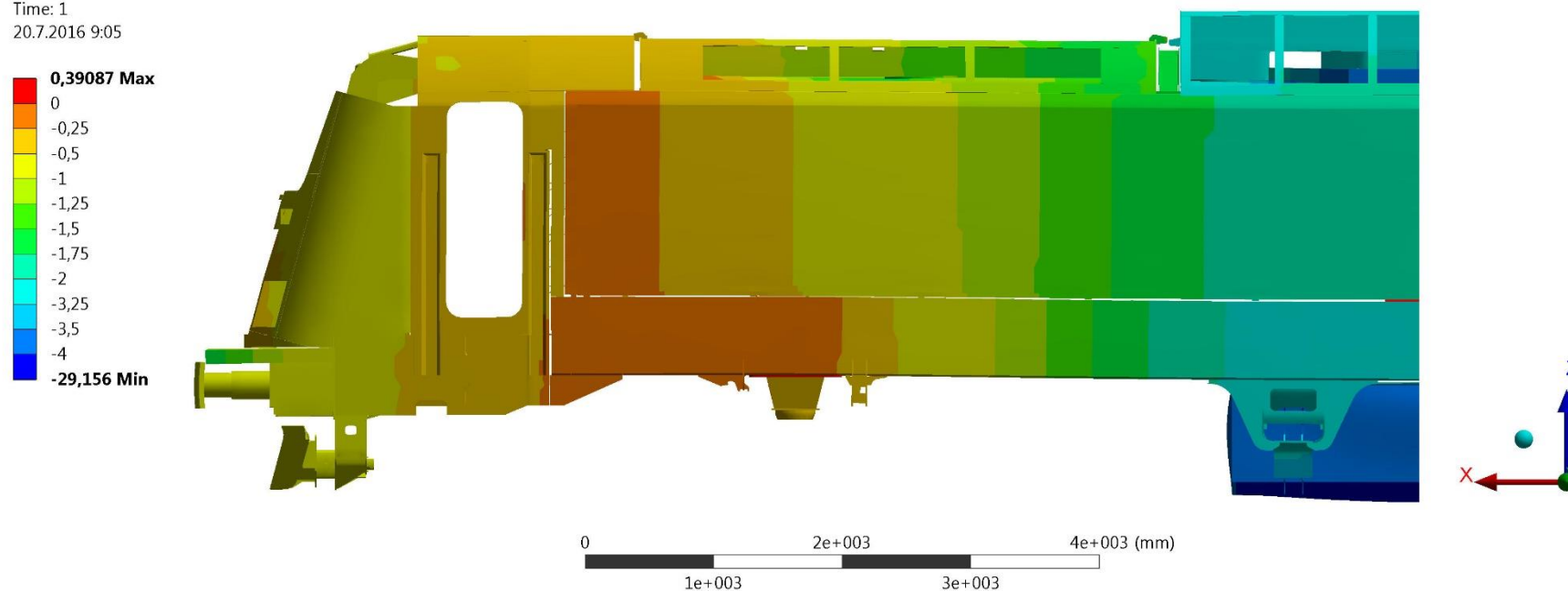
B: Hrubá stavba s AI bočnicí
Directional Deformation
Type: Directional Deformation(Z Axis)
Unit: mm
Global Coordinate System
Time: 1
20.7.2016 9:06



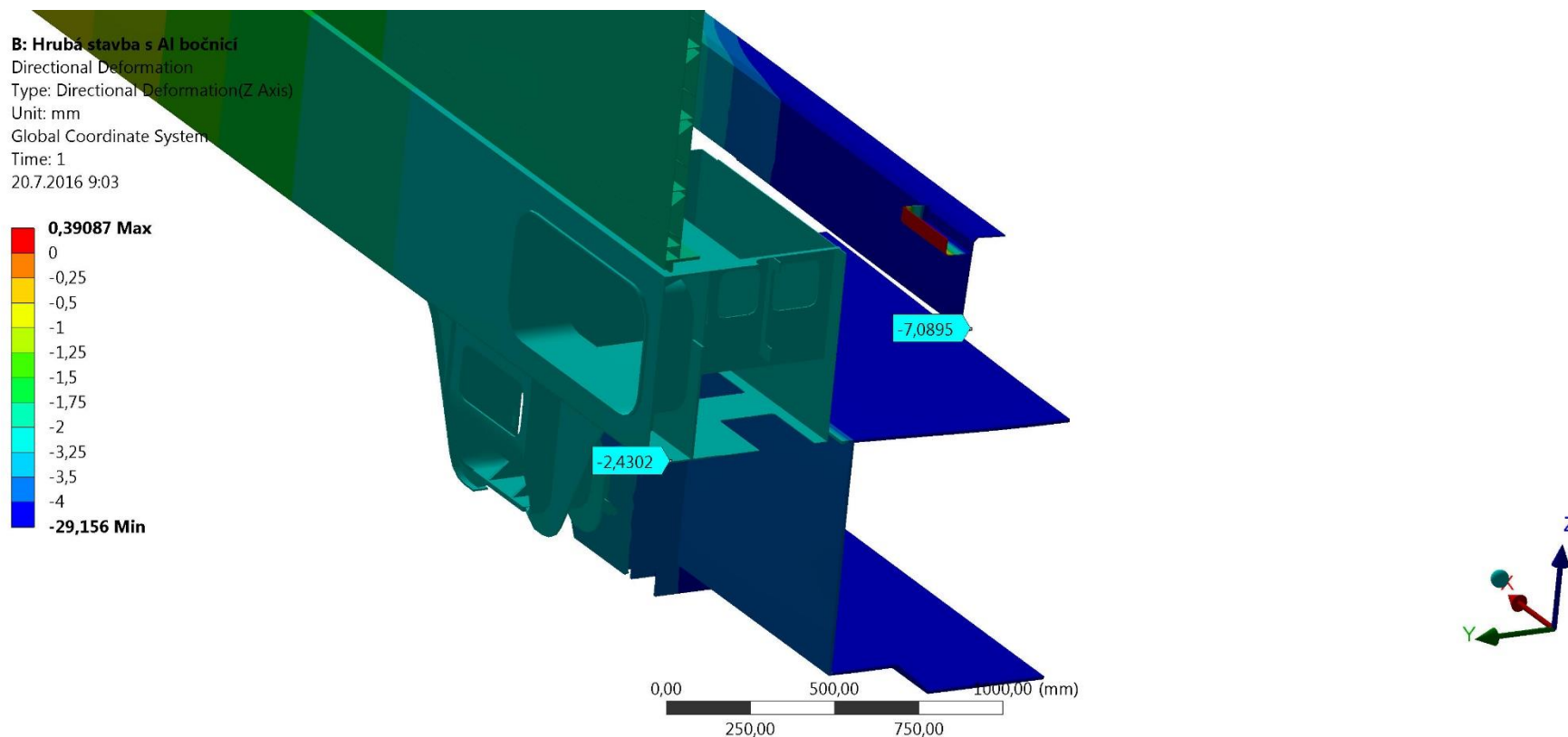
Obrázek 110 - Průhyb skříně při normálním provozním zatížení $g.m_1$



B: Hrubá stavba s AI bočnicí
 Directional Deformation
 Type: Directional Deformation(Z Axis)
 Unit: mm
 Global Coordinate System
 Time: 1
 20.7.2016 9:05



Obrázek 111 - Průhyb skříně při normálním provozním zatížení $g.m_1$

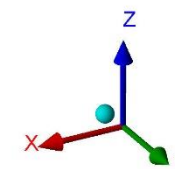
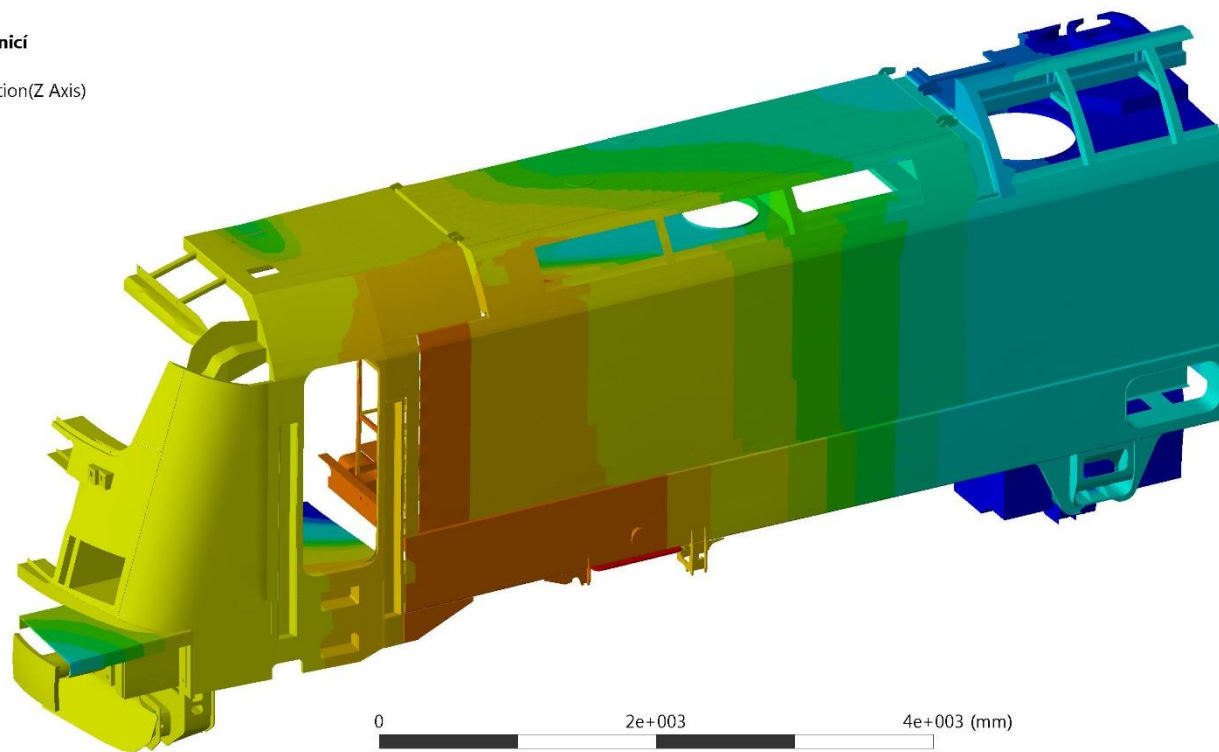
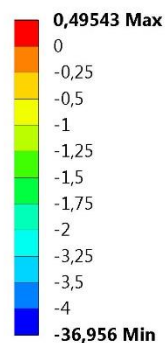


Obrázek 112 - Průhyb skříně při normálním provozním zatížení $g.m_1$



B: Hrubá stavba s AI bočnicí

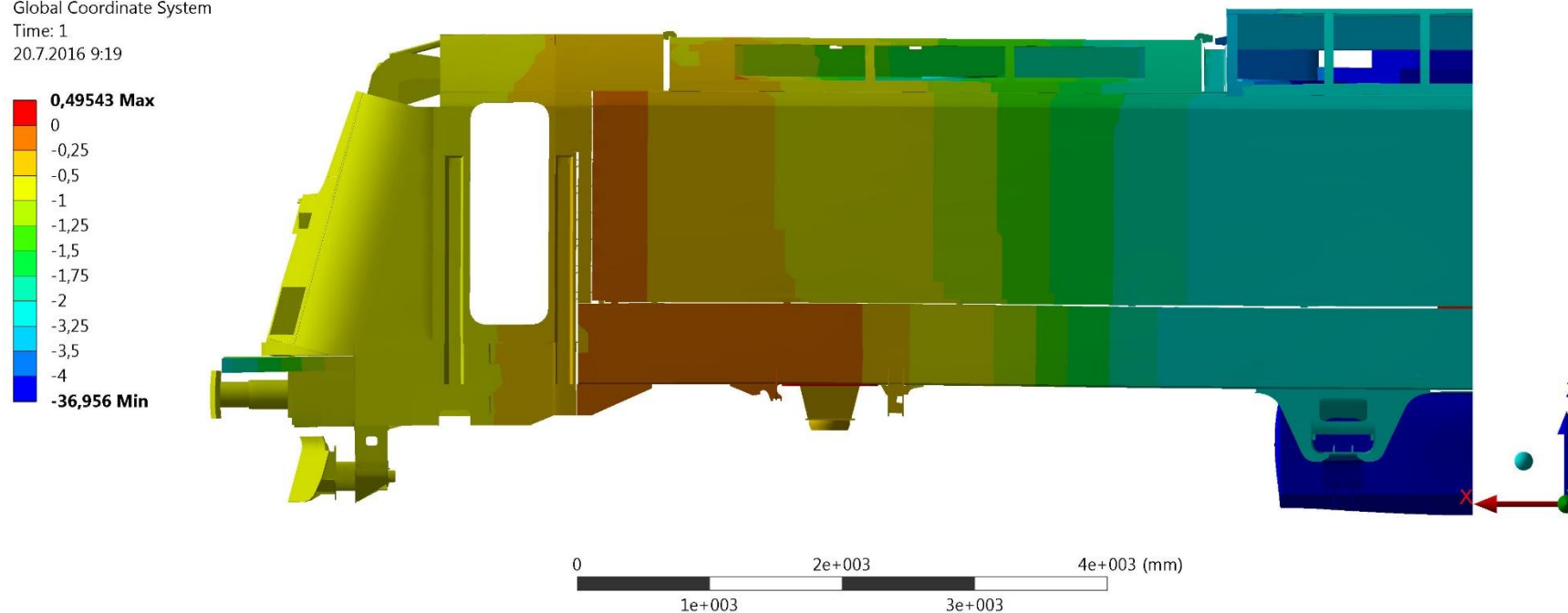
Directional Deformation
Type: Directional Deformation(Z Axis)
Unit: mm
Global Coordinate System
Time: 1
20.7.2016 9:19



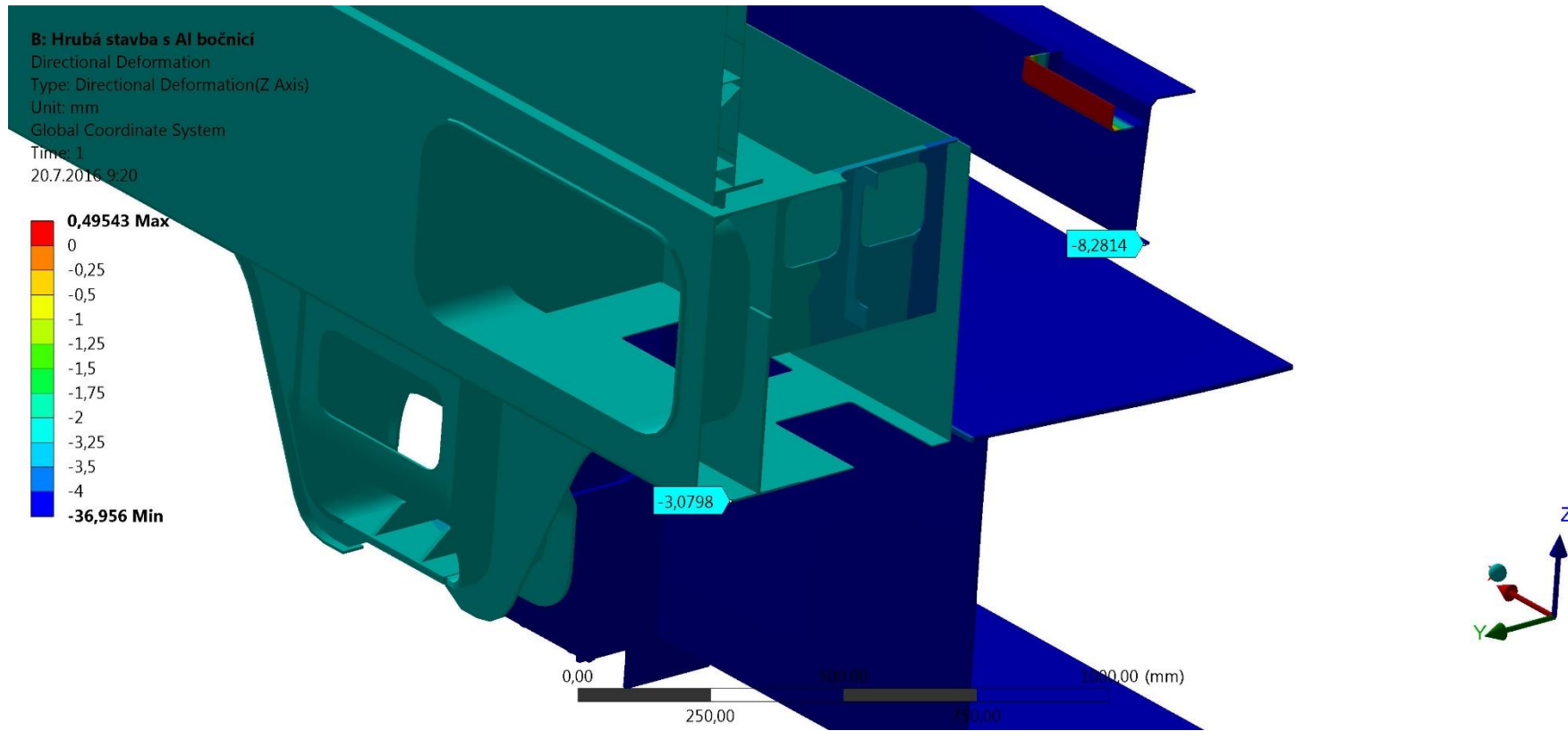
Obrázek 113 - Průhyb skříně vozidla při maximálním provozním zatížení 1,3.g_r



B: Hrubá stavba s AI bočnicí
Directional Deformation
Type: Directional Deformation(Z Axis)
Unit: mm
Global Coordinate System
Time: 1
20.7.2016 9:19



Obrázek 114 - Průhyb skříně vozidla při maximálním provozním zatížení 1,3.g.m₁



Obrázek 115 - Průhyb skříně vozidla při maximálním provozním zatížení 1,3.g.m₁



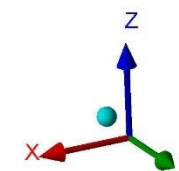
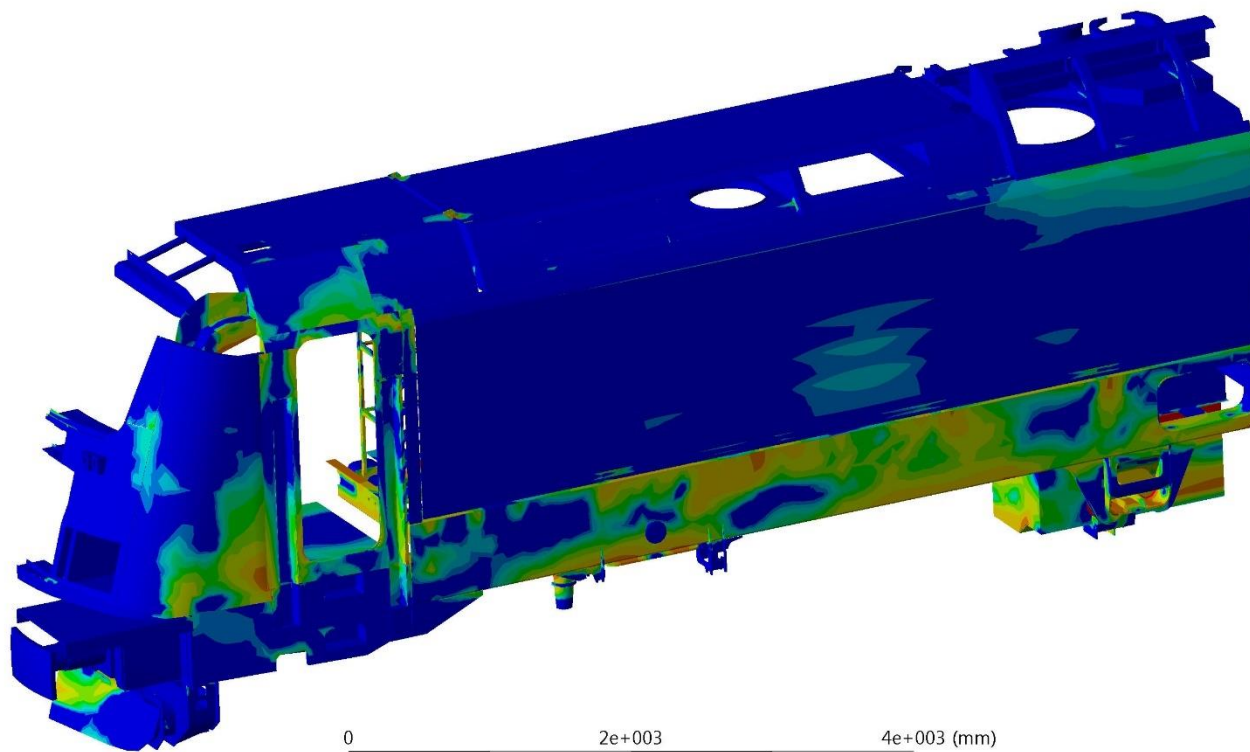
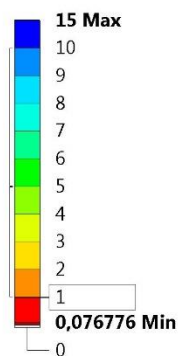
B: Hrubá stavba s AI bočnicí

Safety Factor

Type: Safety Factor

Time: 0

21.7.2016 11:29



Obrázek 116 - Bezpečnost proti mezi únavy



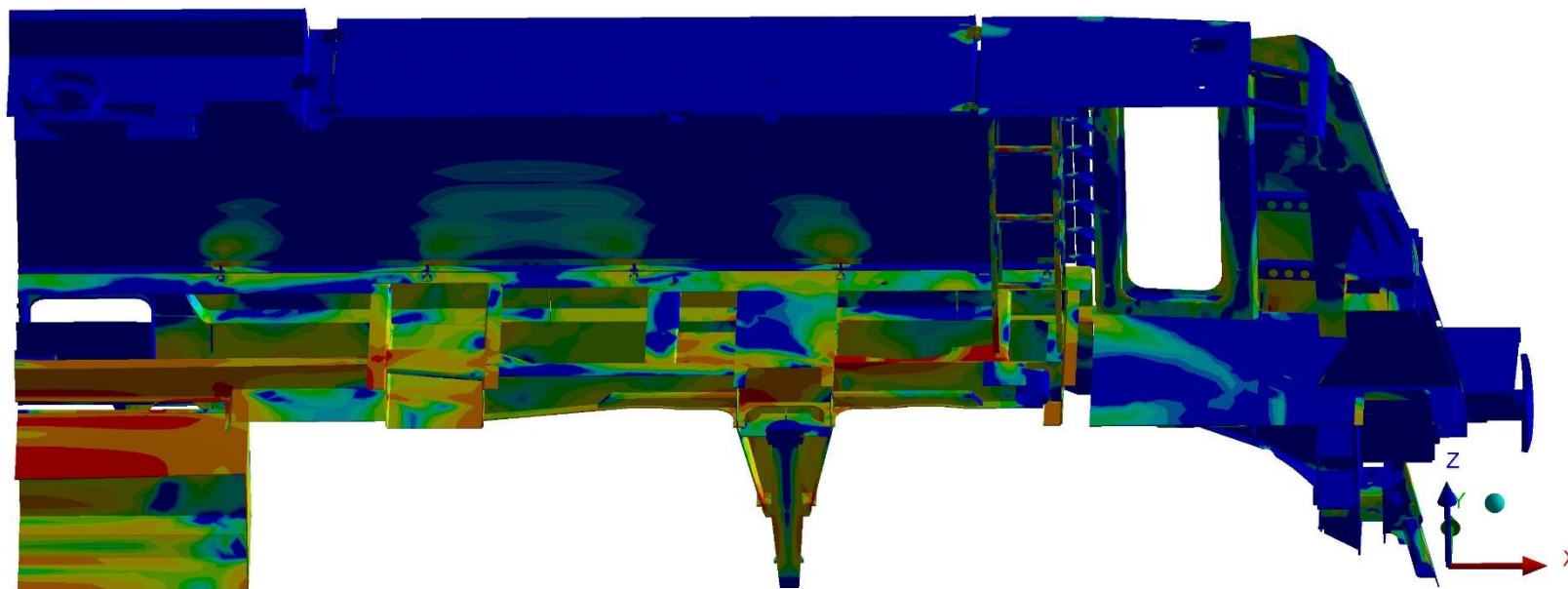
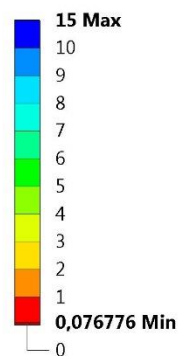
B: Hrubá stavba s AI bočnicí

Safety Factor

Type: Safety Factor

Time: 0

21.7.2016 11:29



Obrázek 117 - Bezpečnost proti mezi únavy



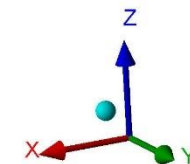
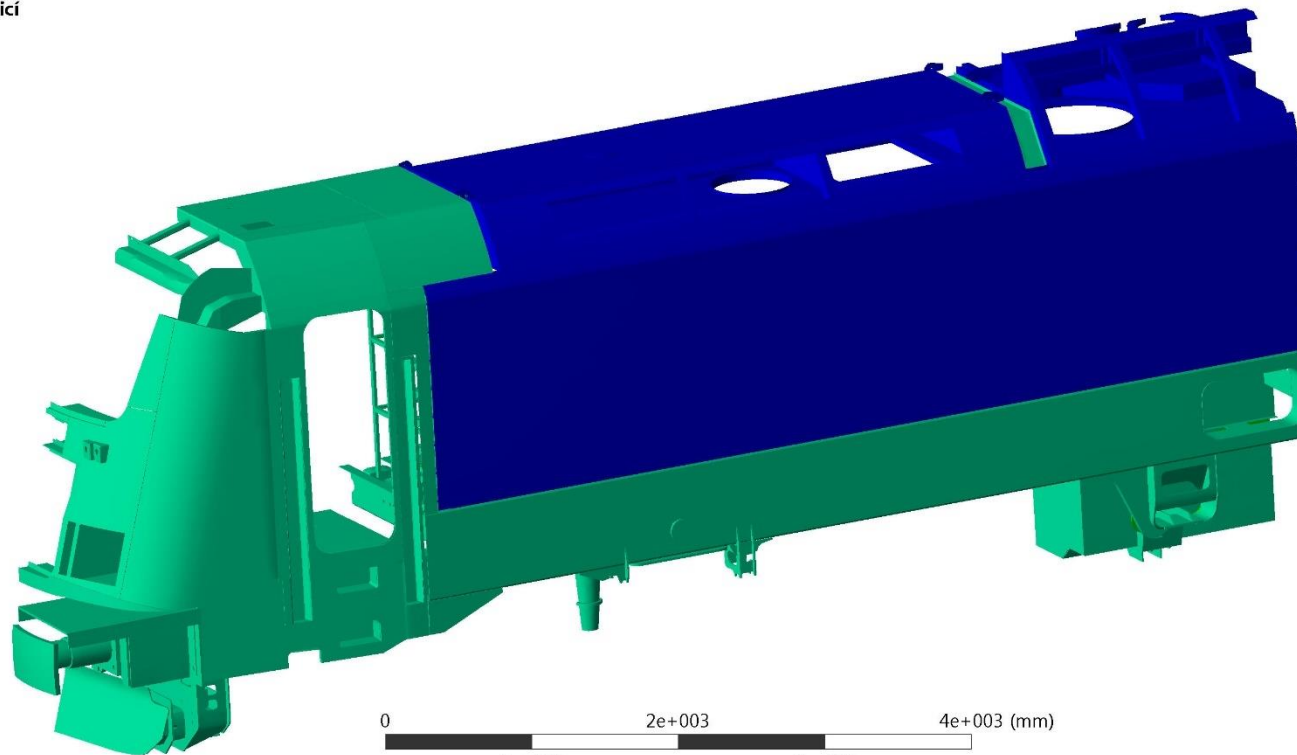
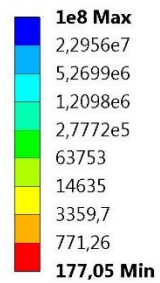
B: Hrubá stavba s AI bočnicí

Life

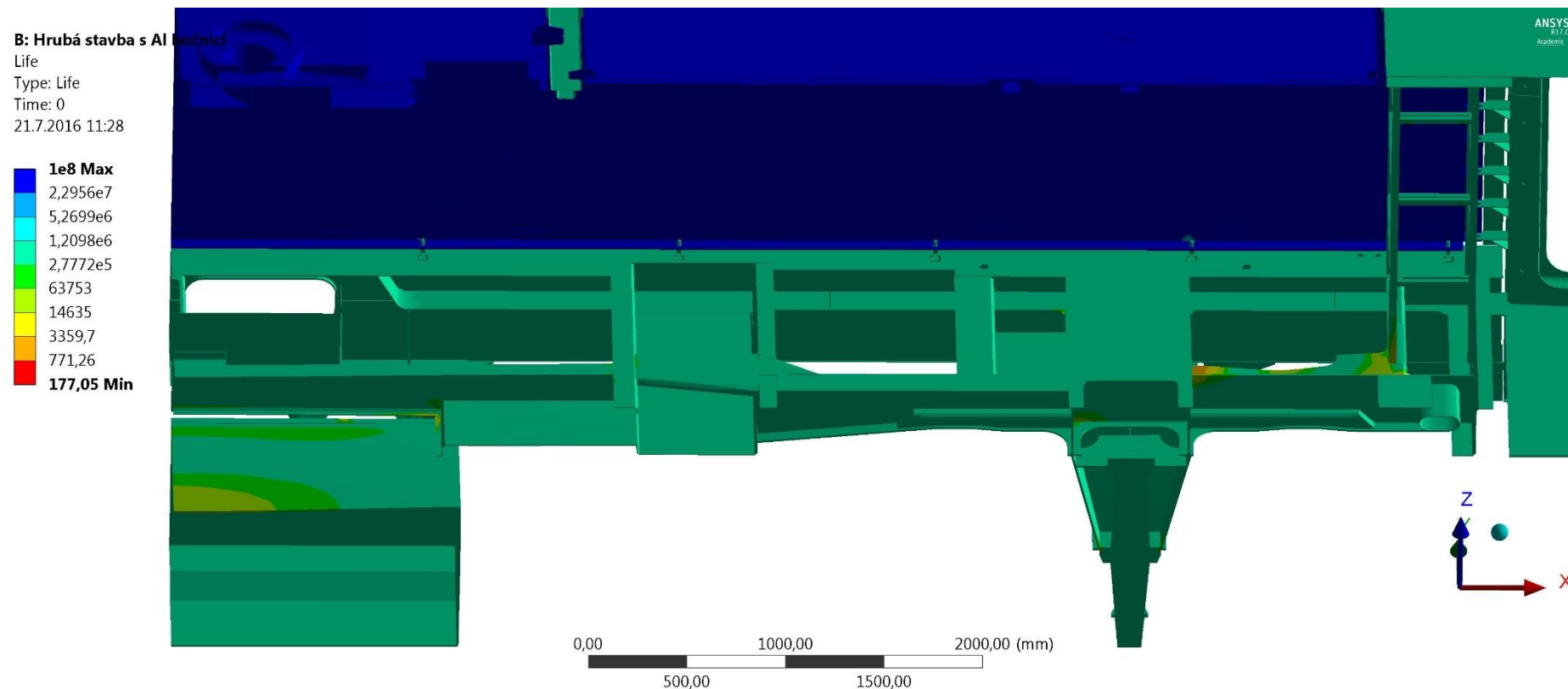
Type: Life

Time: 0

21.7.2016 11:27



Obrázek 118 - Životnost součástí do lomu



Obrázek 119 - Životnost součástí do lomu



C: Modal

Directional Deformation

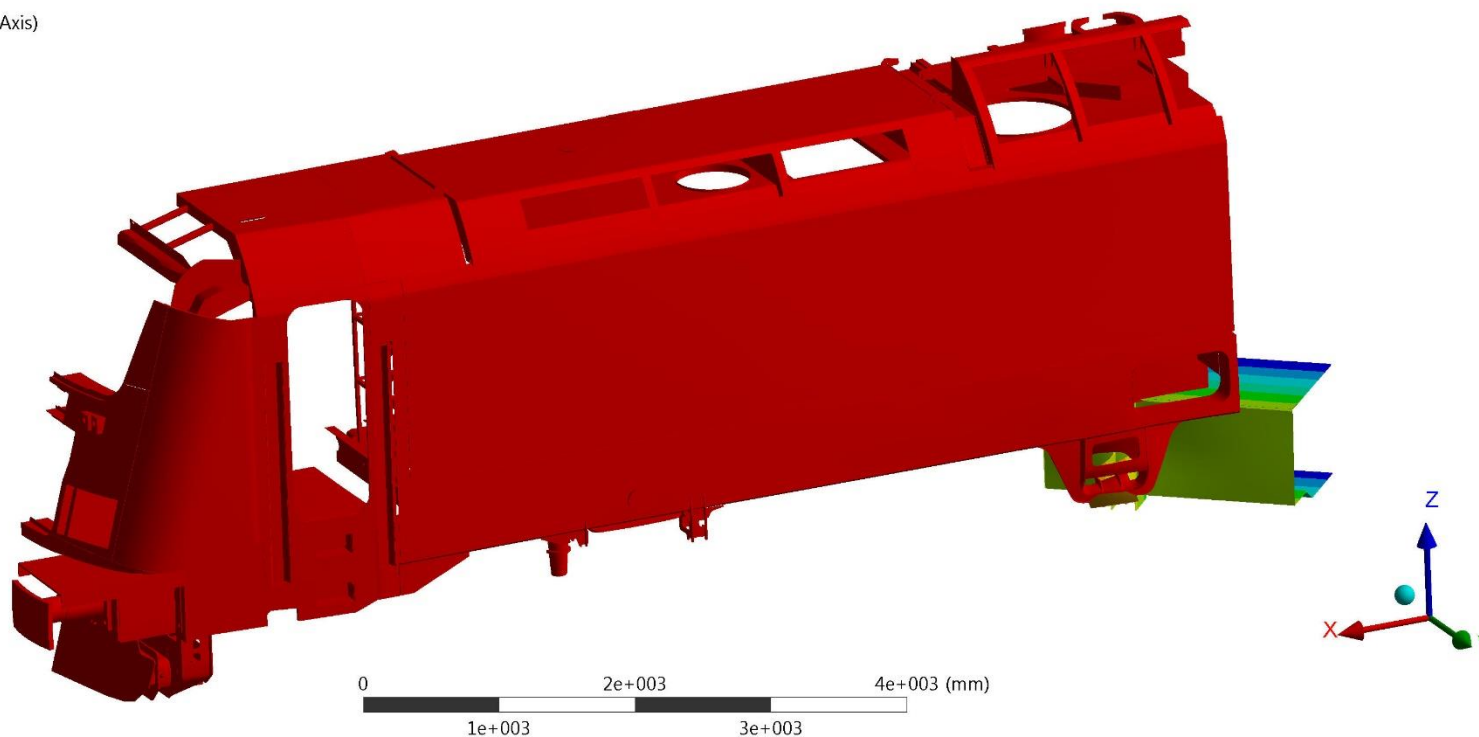
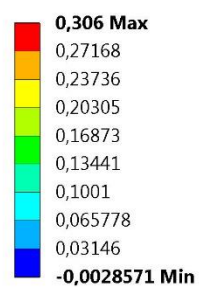
Type: Directional Deformation(X Axis)

Frequency: 1,6796 Hz

Unit: mm

Global Coordinate System

20.7.2016 11:55

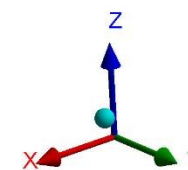
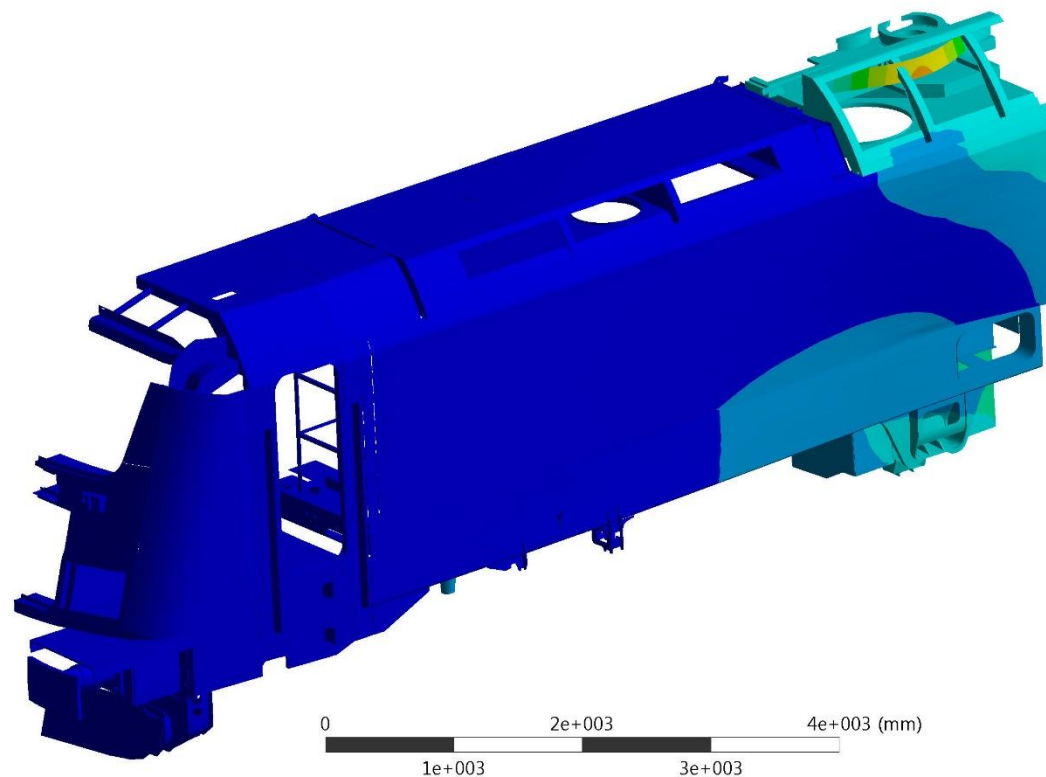
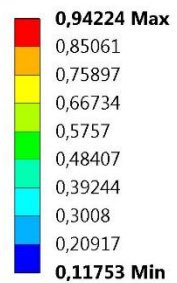


Obrázek 120 - Podélný kmit při frekvenci 1,6796 Hz



C: Modal

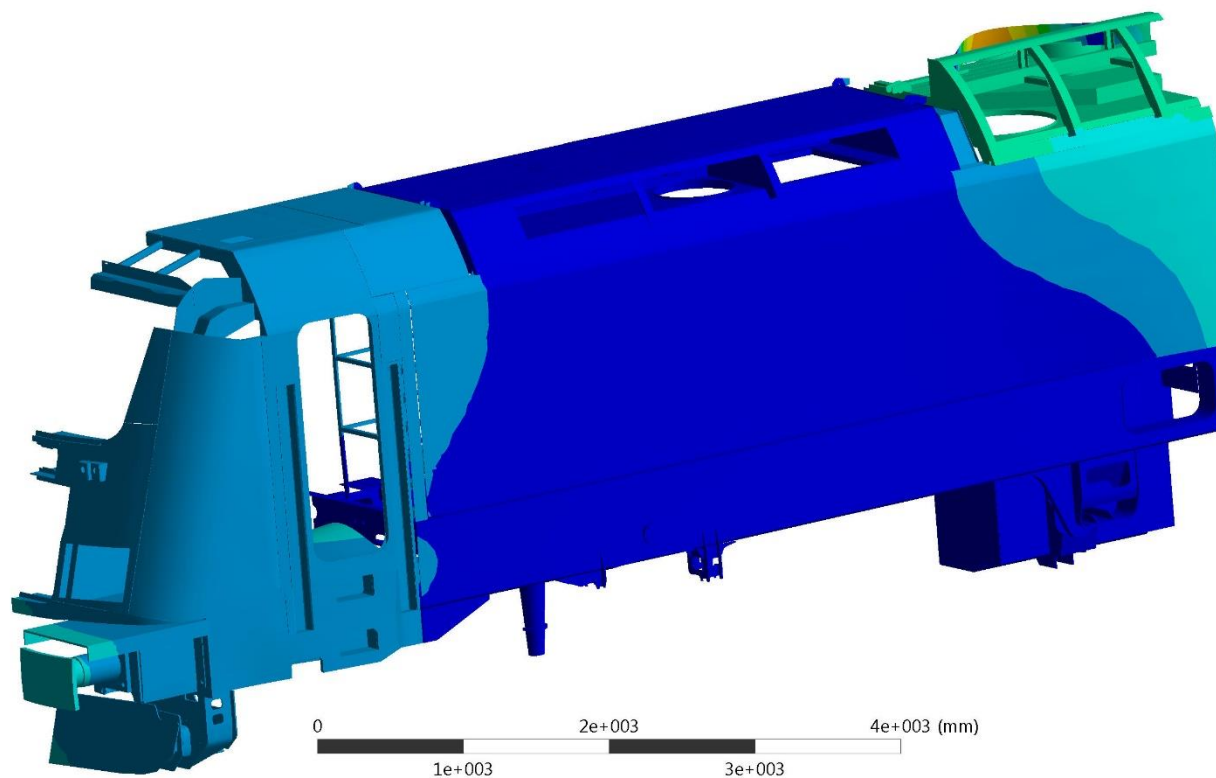
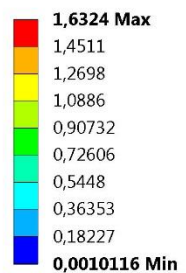
Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 5,5507 Hz
Unit: mm
20.7.2016 11:59



Obrázek 121 - Příčný kmit při frekvenci 5,5507 Hz



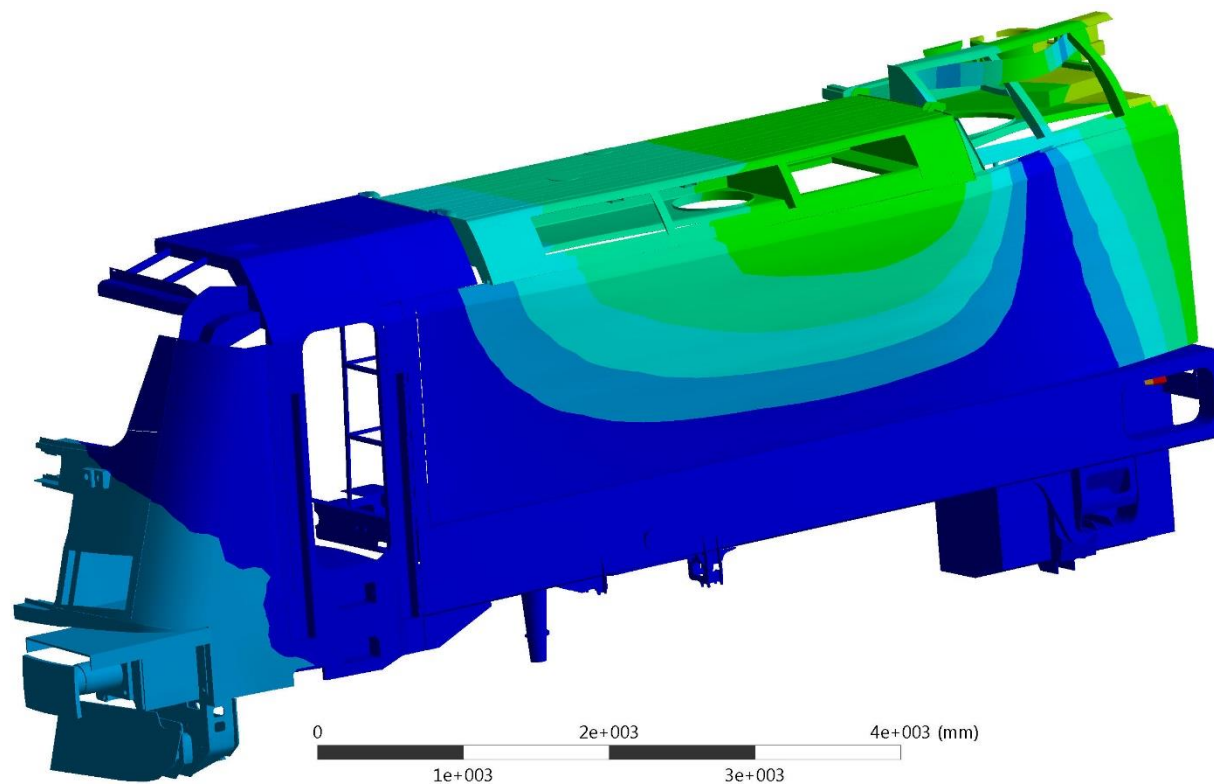
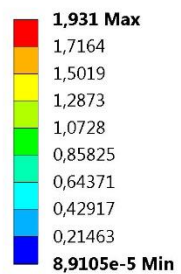
C: Modal
Total Deformation 8
Type: Total Deformation
Frequency: 9,4339 Hz
Unit: mm
19.7.2016 20:21



Obrázek 122 - Příčný kmit při frekvenci 9,4339 Hz



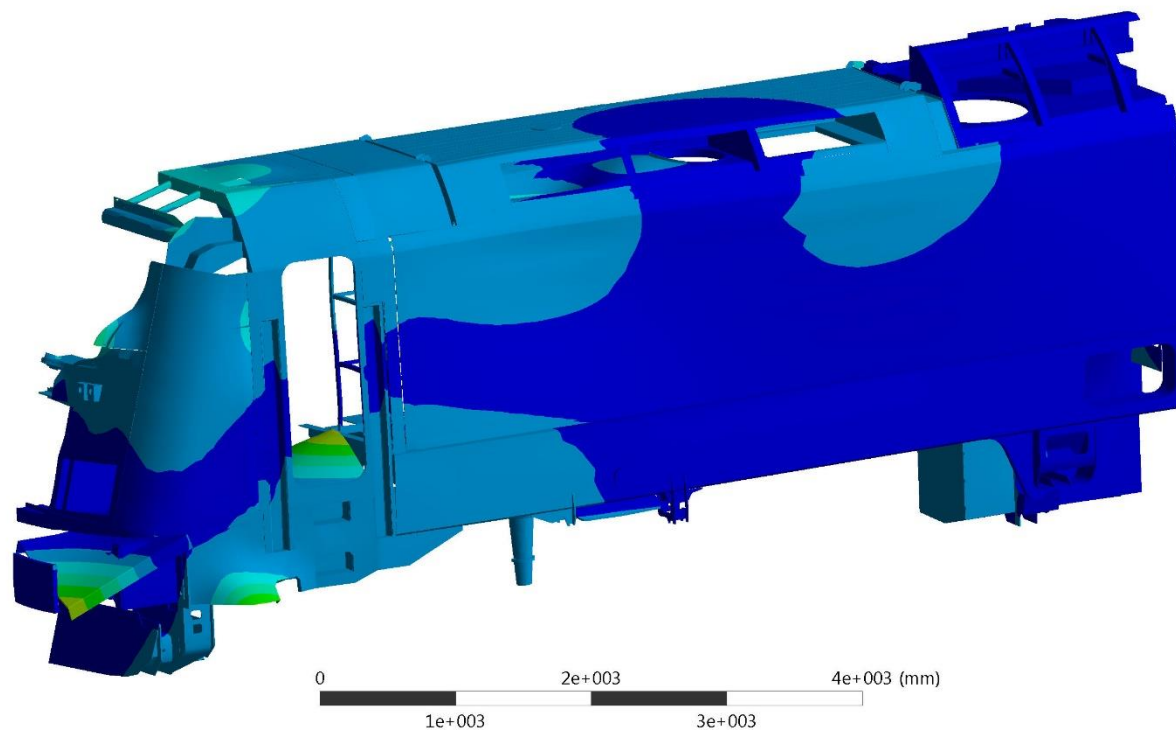
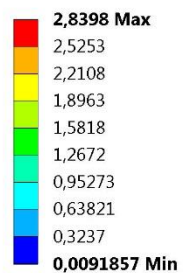
C: Modal
Total Deformation 10
Type: Total Deformation
Frequency: 12,171 Hz
Unit: mm
19.7.2016 20:22



Obrázek 123 - Příčný kmit při frekvenci 12,171 Hz



C: Modal
Total Deformation 4
Type: Total Deformation
Frequency: 25,665 Hz
Unit: mm
19.7.2016 22:03

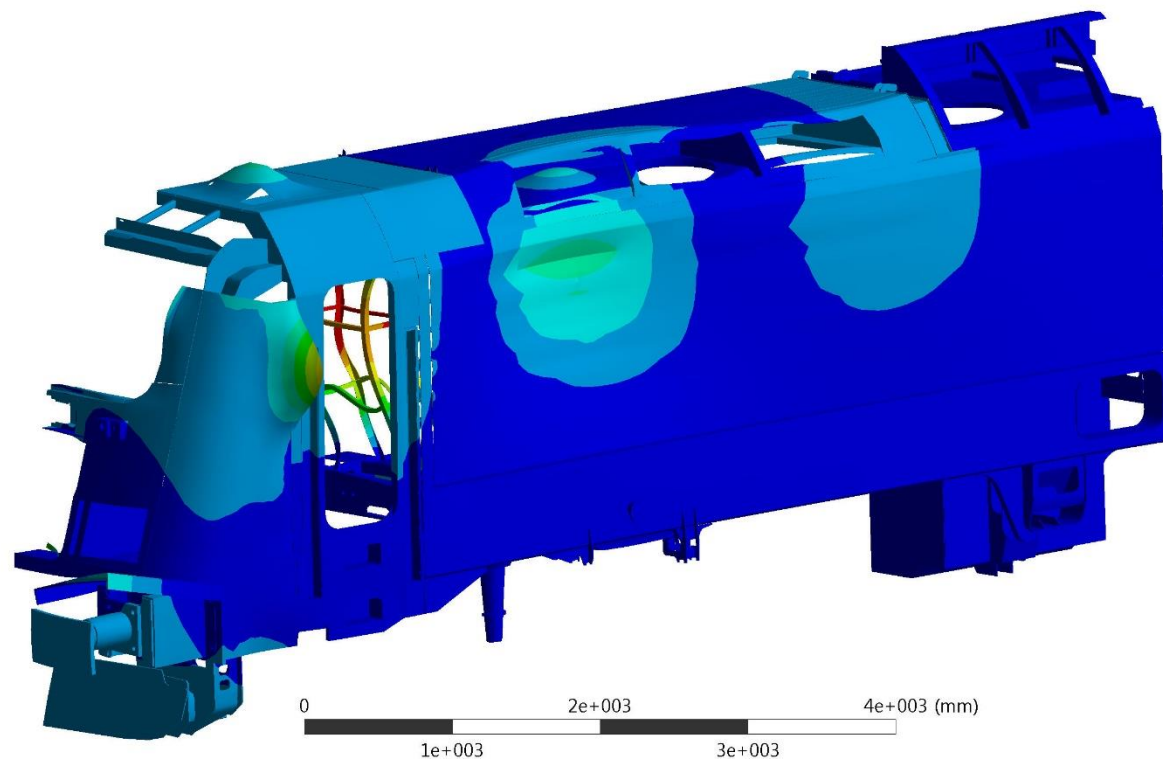
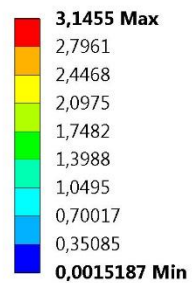


Obrázek 124 - Torzní kmit při frekvenci 25,665 Hz



C: Modal

Total Deformation 3
Type: Total Deformation
Frequency: 33,103 Hz
Unit: mm
20.7.2016 11:20

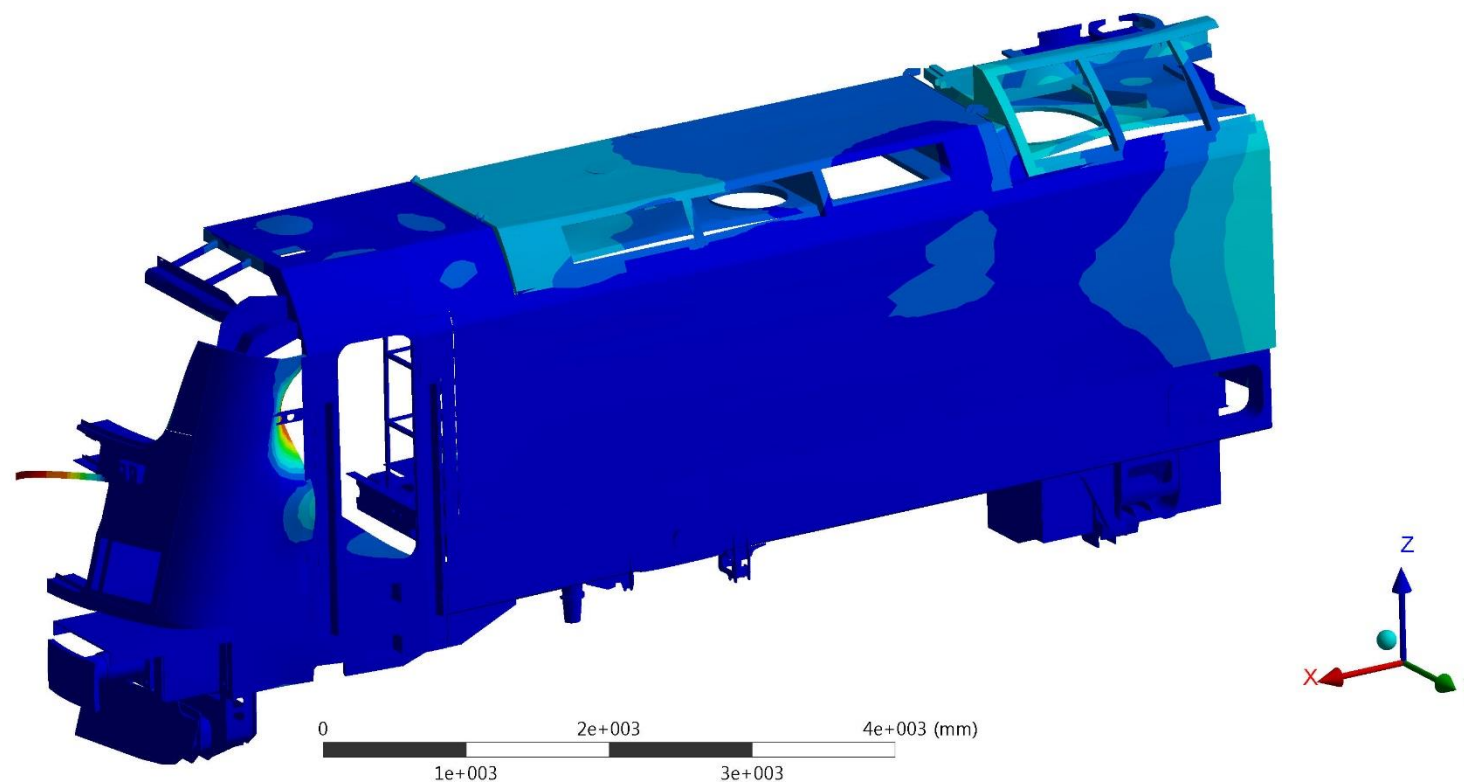
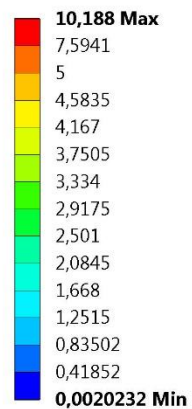


Obrázek 125 - Torzní kmit při frekvenci 33,103 Hz



C: Modal

Total Deformation 10
Type: Total Deformation
Frequency: 41,575 Hz
Unit: mm
20.7.2016 11:22



Obrázek 126 - Podélný kmit při frekvenci 41,575 Hz

M.10.9. Komentář k výsledkům analýzy hrubé stavby

M.10.9.1. Kritická místa

- **Kritické místo 1:**

K překročení meze kluzu dochází pouze při zatížení 2 000 kN na nárazníky. Na tento případ by se dala aplikovat výjimka uvedená v odstavci M.7.. V případě zatížení na čelo je toto místo z analýzy vyjímáno, protože zde je zatížení aplikováno přímo do kritického místa.

- **Kritické místo 2:**

U tohoto místa nedošlo k překročení meze kluzu ani v jednom případě zatížení.

- **Kritické místo 3:**

V tomto místě dochází k překročení meze kluzu v hlavních případech statického zatížení, k překročení dochází na velké ploše, proto nelze použít výjimka z odstavce M.7. Tento případ bude dále komentován v závěru.

- **Kritické místo 4:**

Mez kluzu byla v tomto místě překročena téměř ve všech případech, i když je ovlivněná oblast relativně malá, nelze použít výjimku z odstavce M.7. Bude ještě okomentováno.

- **Kritické místo 5:**

U tohoto místa nedošlo k překročení meze kluzu ani v jednom případě zatížení. Avšak toto místo je součástí nově navrhované bočnice, proto bude dále komentováno.

- **Kritické místo 6:**

K překročení meze kluzu v kritickém místě došlo u případů zrychlení podvozku, na toto místo je možná aplikovat výjimku z odstavce M.7. . Navíc zde dochází ke styku dvou plošných součástí.

- **Kritické místo 7:**

Mez kluzu je u tohoto místa překročena pouze u hlavních případů statického zatížení a ještě v případě, kdy deska čelníku přenáší napětí dále do konstrukce. Tedy lze použít výjimku z odstavce M.7:

- **Kritické místo 8:**

U tohoto místa nedošlo k překročení meze kluzu ani v jednom případě zatížení.

- **Kritické místo 9:**

K překročení meze kluzu dochází pouze při zatížení 2 000 kN na nárazníky a na tento případ by se dala aplikovat výjimka uvedená v odstavci M.7..

M.10.9.2. Statické zatížení

Z výsledků je vidět, že v konstrukci se objevují velké zóny, kde dochází k překročení meze kluzu a to hlavně v místě spojení kabinového modulu s hlavním rámem a spojení kabinového modulu a bočnice. V samotné bočnici se neobjevila žádná velká napětí, která by namáhala její konstrukci.

M.10.9.3. Deformace skříně svislým zatížením

Při normálním provozním zatížení je průhyb vnějšího podélníku -2,4302 mm a na vnitřním -7,0895 mm. Při maximálním provozním zatížení dojde na vnějším podélníku k průhybu -3,0798 mm a na vnitřním -8,2814 mm.

M.10.9.4. Únavová zatížení

Při únavové analýze se objevila místa, která by dlouhodobé únavové zatížení nevydržela, avšak tato místa jsou převážně v oblasti nosiče čepu podvozku a ještě v místě, na které je napojená konstrukce mezistěny. Toto místo by v reálné konstrukci bylo řešeno jinak. Bočnice nevykazuje náchylnost k únavě materiálu.

M.10.9.5. Modální analýza

V modální analýze byly vyhledány všechny vlastní tvary pro frekvence 1-50 Hz. Z výsledků byly vybrány pouze tvary, které ovlivňovaly celou hrubou stavbu. Konstrukce kmitá převážně torzně a příčně. Při kmitání dochází k výchylkám do 4 mm, pouze u podélného kmitání při frekvenci 41,575 Hz by plech krytu klimatizace kmital výchylkou 10 mm.

M.11. Výpočet hrubé stavby s ocelovou bočnicí

Při výpočtu hrubé stavby byla využita téměř dokonalá symetrie skříně a model byl rozdělen na čtvrtiny. U tohoto modelu byly vypočteny pouze základní a největší případy zatížení:

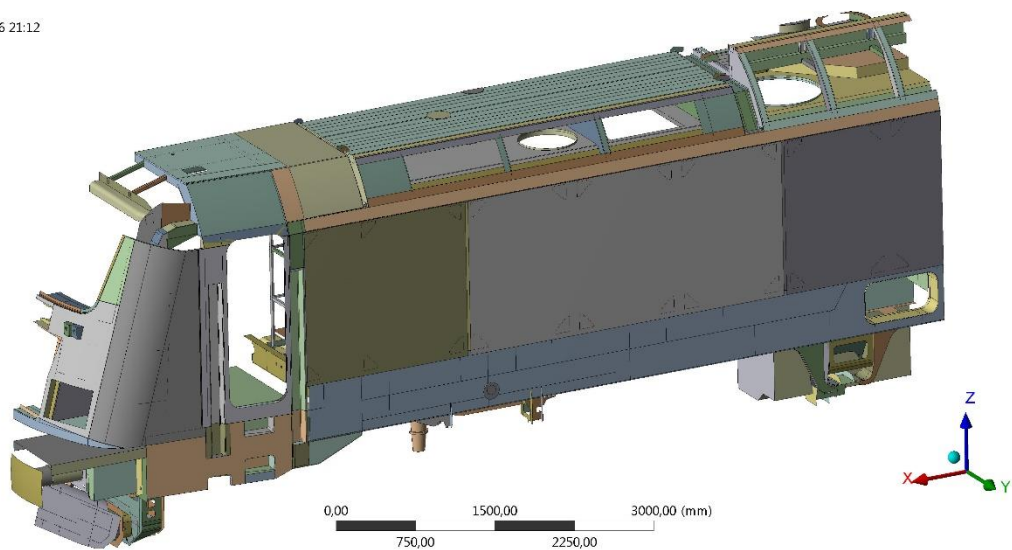
- Tlaková síla 2 000 kN na nárazníky
- Tahová síla 1 000 kN na spřáhlo
- Normální provozní zatížení
- Maximální provozní zatížení.

Předpoklady jako okrajové podmínky a rozložení hmotných bodů bylo použito stejné jako u hrubé stavby s hliníkovou bočnicí.

M.11.1. Geometrie výpočtového modelu

Model je složen z 562 součástí. Většina součástí je plošného typu a je tedy pro snazší výpočet možné použít elementy typu Shell.

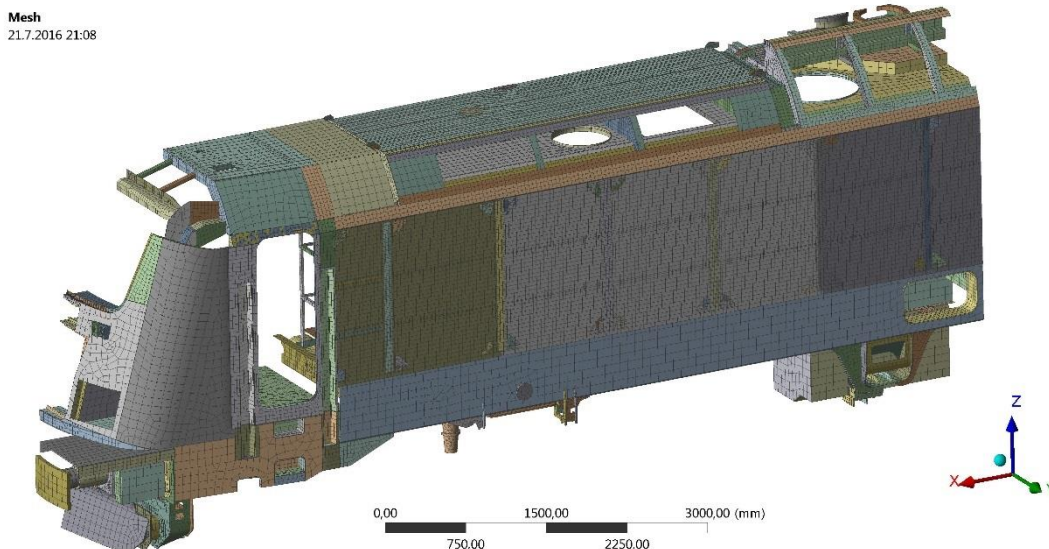
Model
21.7.2016 21:12



Obrázek 127 - Geometrie modelu

M.11.2. Síť modelu

Model byl vysíťován 68 158 elementy převážně Shell elementy typu Quad4, v menší míře byly použity elementy typu Tet10, nebo Tri3.



Obrázek 128 - Síť modelu

M.11.3. Použité materiály³³

Hustota některých materiálů byla upravena tak, aby hmotnost odpovídala hmotnosti skutečné součásti.

Tabulka 22 - Materiály použité pro výpočet hrubé stavby

Materiály použité na výpočet HSS s ocelovou bočnicí						
Materiál	Mez pevnosti	Mez kluzu	Modul pružnosti v tahu	Modul pružnosti ve smyku	Poissonovo číslo	Hustota
	R_m (N.mm ⁻²)	R_e (N.mm ⁻²)	E (N.mm ⁻²)	G (N.mm ⁻²)	ν (N.mm ⁻²)	P (kg.m ⁻³)
S355 J2G3 (Skříň)	510	355	210 000	80 000	0.313	7 850
EN AW xxxx (Střecha)	180	80	70 000	26 700	0.313	3 108
S500QL (Mezistěna)	590	500	210 000	80 000	0.311	7 850
S355_NARAZNIK	510	355	210 000	80 000	0.313	7 850
S355_PLUH	510	355	210 000	80 000	0.313	9 184
42CrMo+QT(Čep)	510	355	210 000	80 000	0.313	8 184

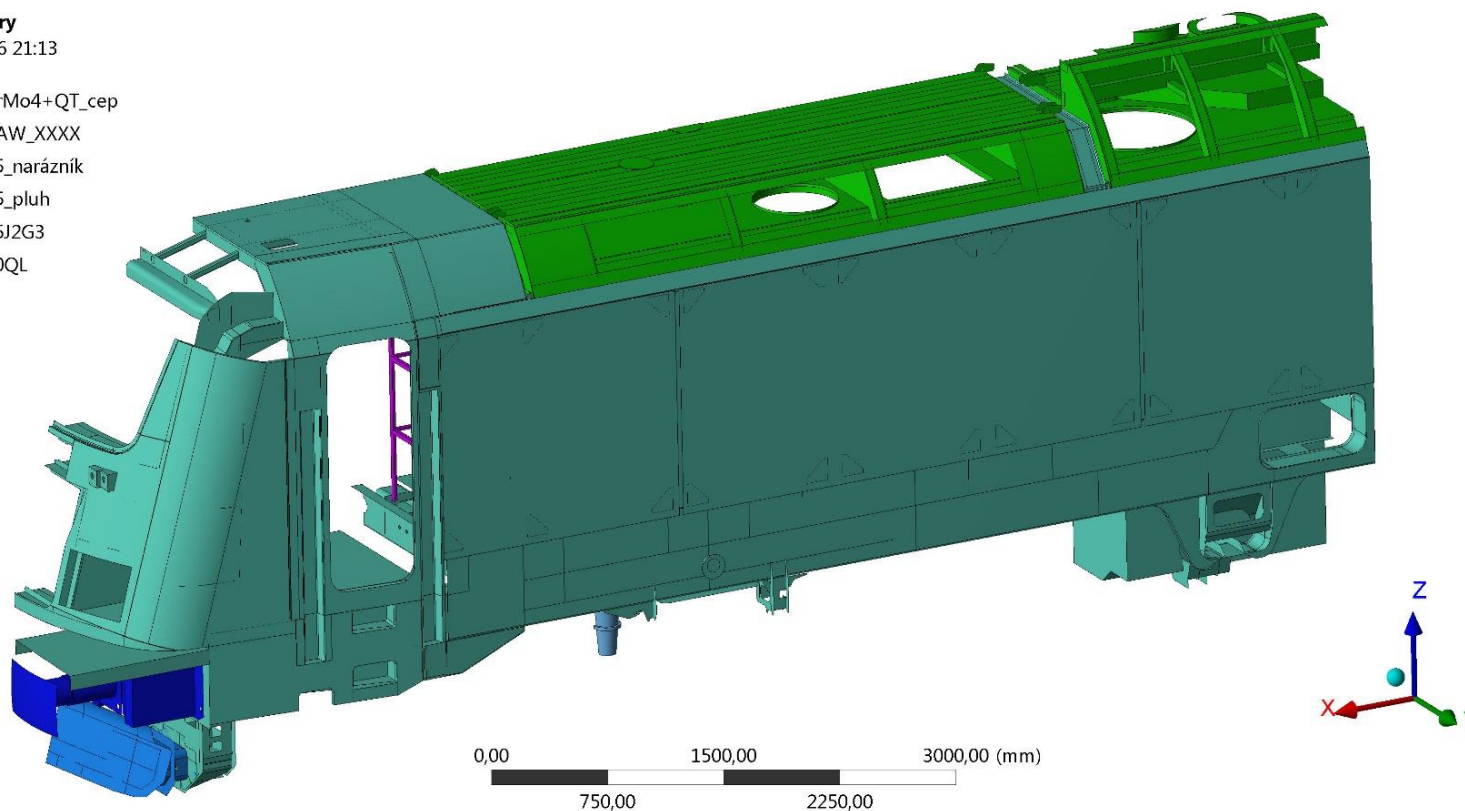
³³ Zpracováno podle (Doubrava, 2014)



Geometry

21.7.2016 21:13

- 42CrMo4+QT_cep
- EN_AW_XXXX
- S355_narázník
- S355_pluh
- S355J2G3
- S500QL



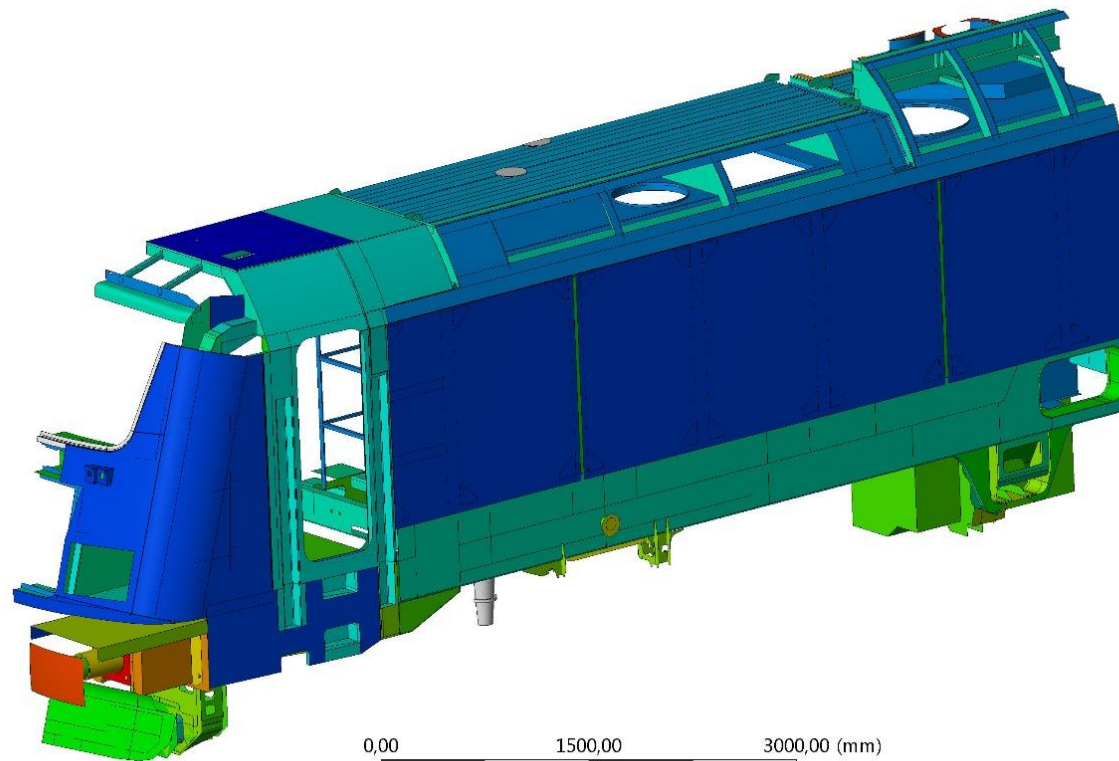
Obrázek 129 - Rozložení materiálu na modelu



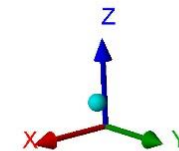
Geometry

21.7.2016 21:05

- 45,
- 40,
- 25,
- 20,
- 16,
- 15,
- 10,
- 8,
- 7,
- 5,
- 4,
- 3,5
- 3,2
- 2,5
- 2,



0,00 1500,00 3000,00 (mm)
750,00 2250,00



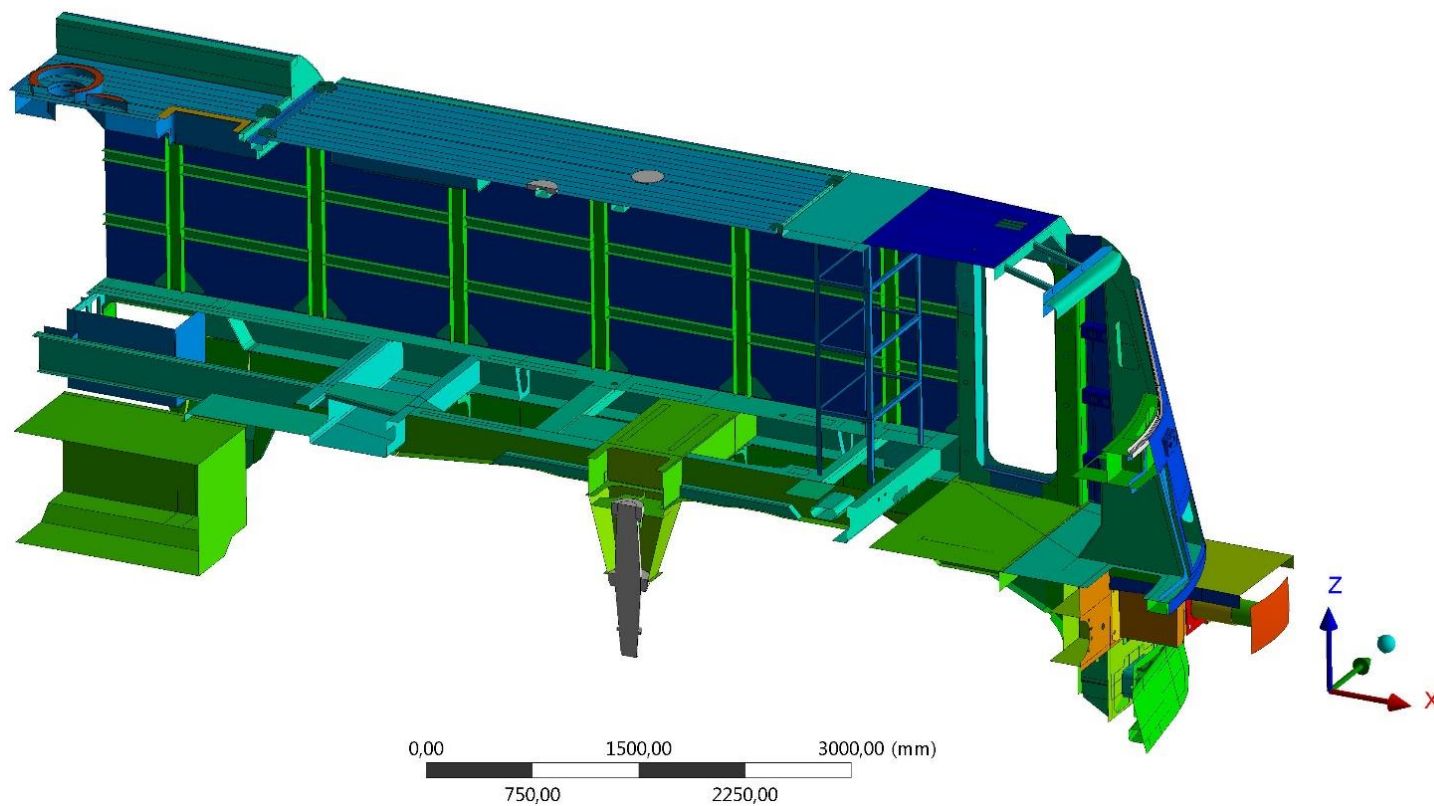
Obrázek 130 - Rozložení tloušťek materiálu na modelu



Geometry

21.7.2016 21:05

- 45,
- 40,
- 25,
- 20,
- 16,
- 15,
- 10,
- 8,
- 7,
- 5,
- 4,
- 3,5
- 3,2
- 2,5
- 2,



Obrázek 131 - Rozložení tloušťek materiálu na modelu

M.11.4. Kombinace statických zatížení³⁴

Tabulka 23 - Kombinace statických zatížení

Škoda Transportation a.s. – pevnostní výpočet/vlastní úprava

Kombinace	Svislé zatížení	Síla na nárazníky	Síla na spřáhlo	Síla na nárazníky uhlopříčně	Síla na čelo 150 mm nad podlahou	Síla na čelo pod rámem okna	Zatížení podvozků zrychlením ve směru osy „x“	Zatížení přístrojů zrychlením ve směru osy „x“	Zatížení přístrojů zrychlením ve směru osy „y“	Zatížení přístrojů zrychlením ve směru osy „z“	Zatížení celého vozidla přetlakem
1	1.0.g	-2 000 kN									
2	1.0.g		1 000 kN								

M.11.5. Výsledky výpočtů

V následujícím odstavci jsou zobrazeny výsledky výpočtů. Kontrola probíhá dle jmenovitých napětí H_{MH}. Barevná škála u obrázků výsledků je upravena tak, aby rozhraní odpovídalo materiálovým charakteristikám oceli S355 J2G3:

- 355 N.mm⁻² – mez kluzu základního materiálu
- 308 N.mm⁻² – mez kluzu základního materiálu snižená o koef .bezpečnosti 1,15
- 278 N.mm⁻² – mez kluzu základního materiálu snižená o koef .bezpečnosti 1,15 a koeficient svaru $\alpha_w = 0,9$

M.11.5.1. Statické zatížení výsledky

- Tlaková síla $F = 2\ 000\ kN$ na nárazníky
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 132 a 133
- Tahová síla $F = 1\ 000\ kN$ na spřáhlo
 - Vypočtená napětí v modelu jsou na obrázcích 134 a 135

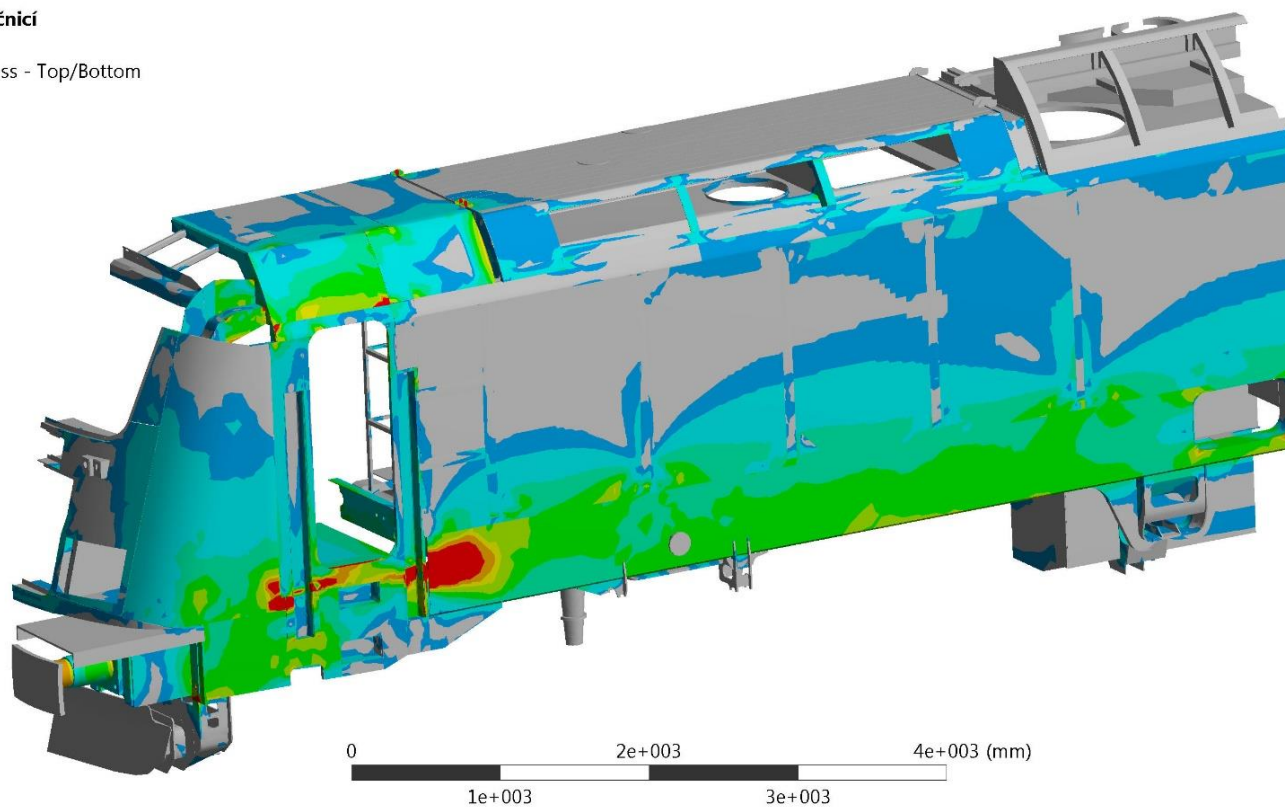
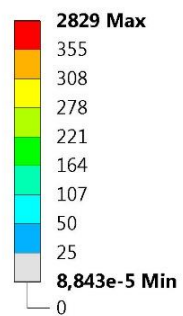
M.11.5.2. Deformace vozidla

- Průhyb skříně vozidla při normálním provozním zatížení
 - Deformace skříně je na obrázcích 136 a 137
- Průhyb skříně vozidla při maximálním provozním zatížení
 - Deformace skříně je na obrázcích 138 a 139

³⁴ Vychází z (Doubrava, 2014)



B: Hrubá stavba s ocelovou bočnicí
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom
 Unit: MPa
 Time: 1
 21.7.2016 20:26



Obrázek 132 - Zatížení 2 000 kN na nárazníky



B: Hrubá stavba s ocelovou bočnicí

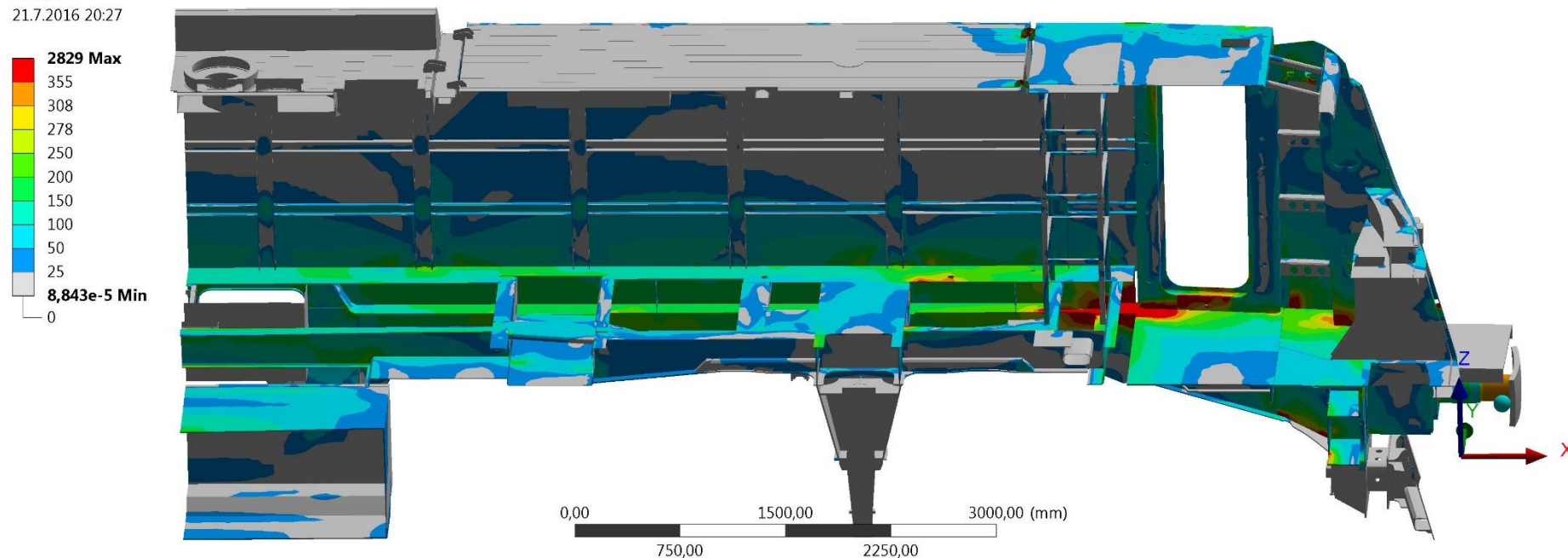
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

21.7.2016 20:27



Obrázek 133 - Zatížení 2 000 kN na nárazníky



B: Hrubá stavba s ocelovou bočnicí

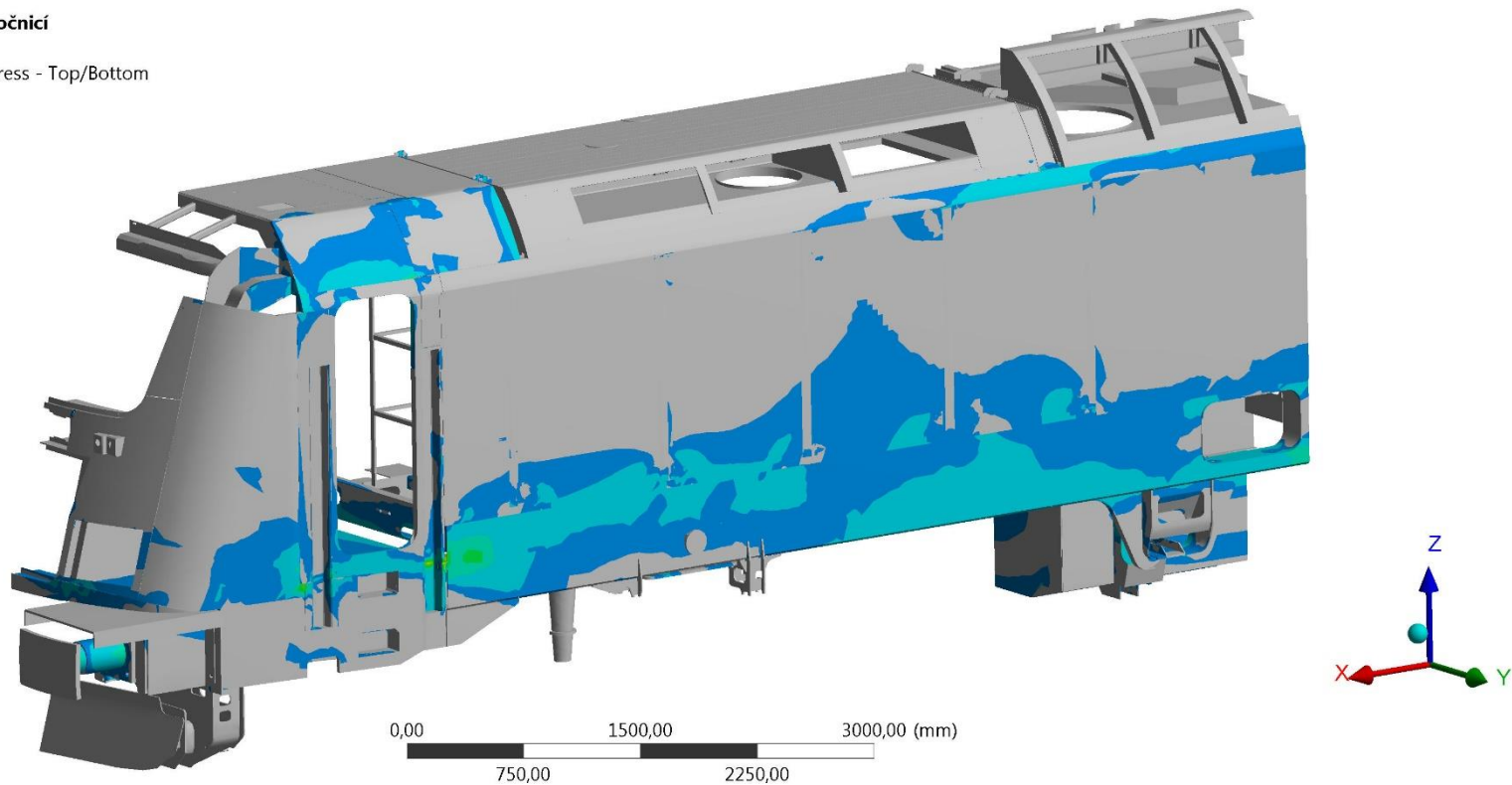
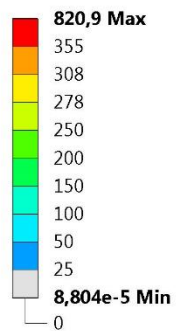
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

21.7.2016 20:38



Obrázek 134 - Zatížení 1 000 kN na spřáhlo



B: Hrubá stavba s ocelovou bočnicí

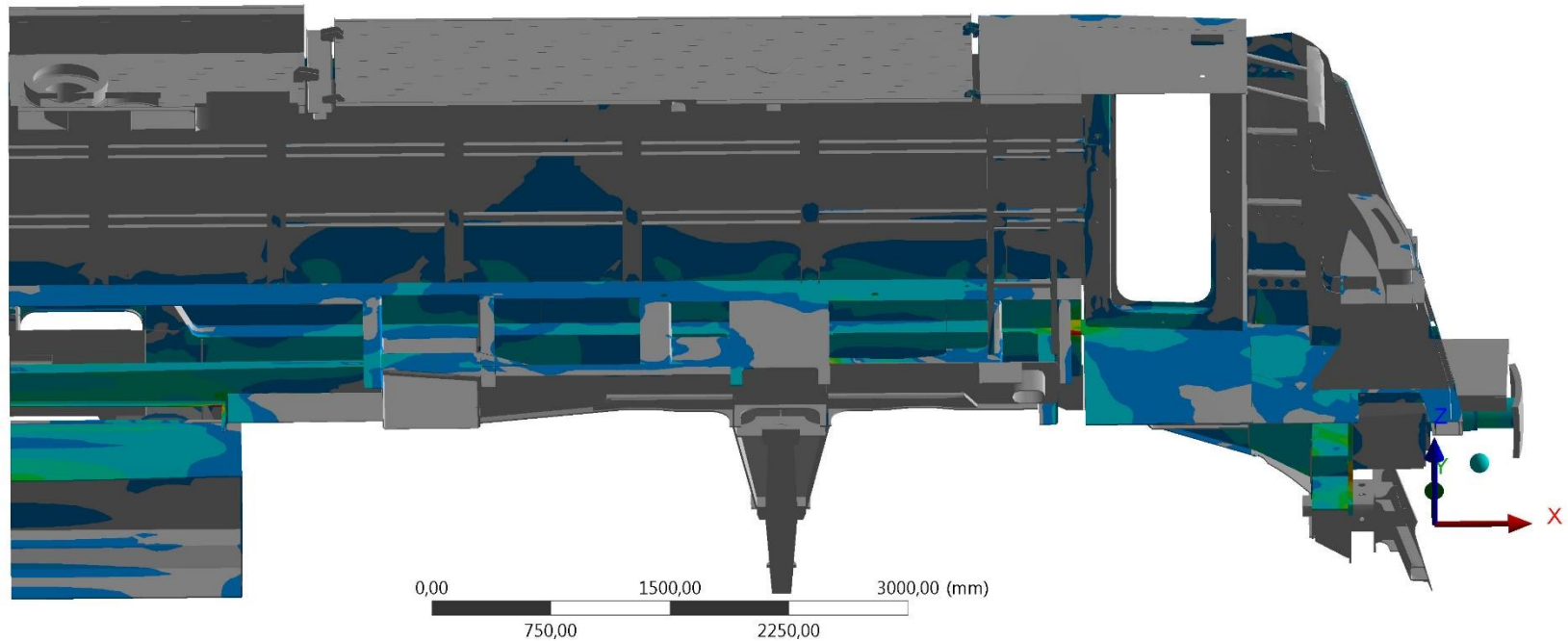
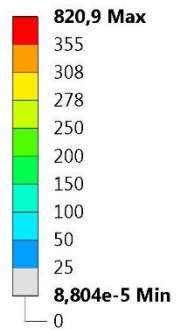
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress - Top/Bottom

Unit: MPa

Time: 1

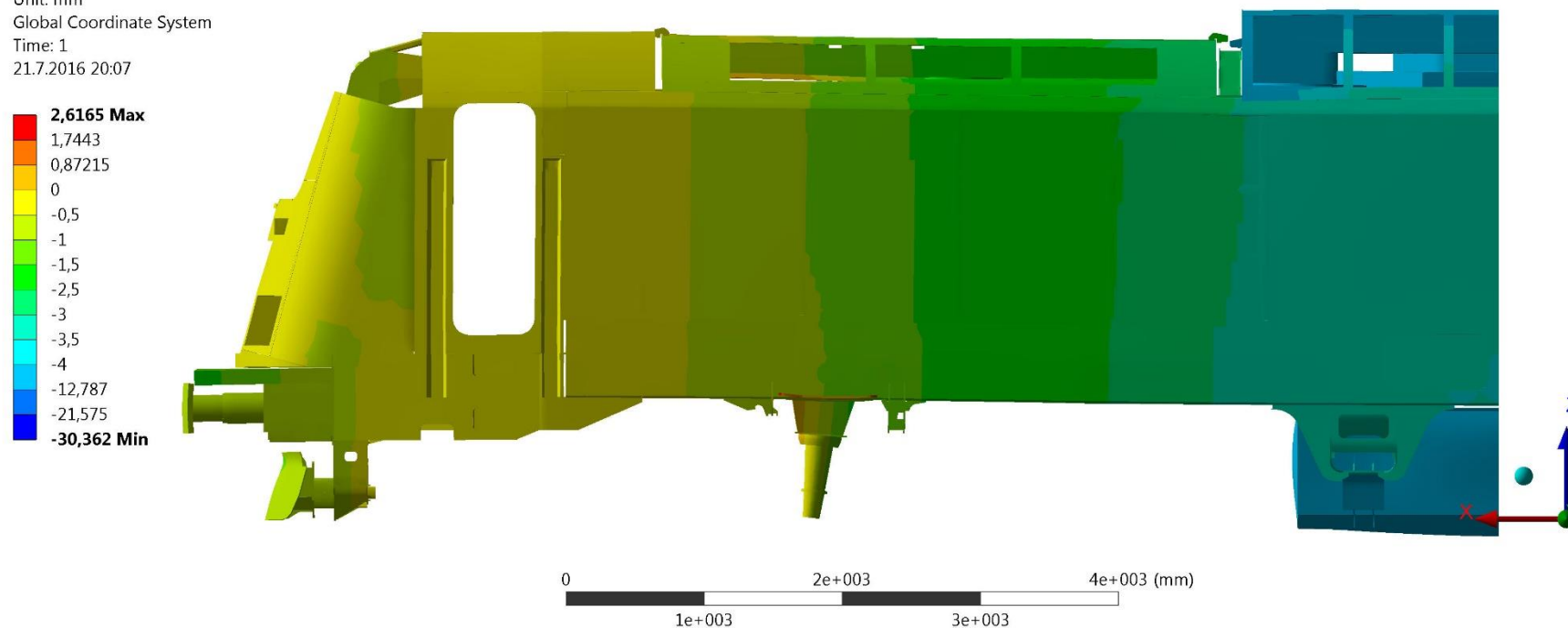
21.7.2016 20:40



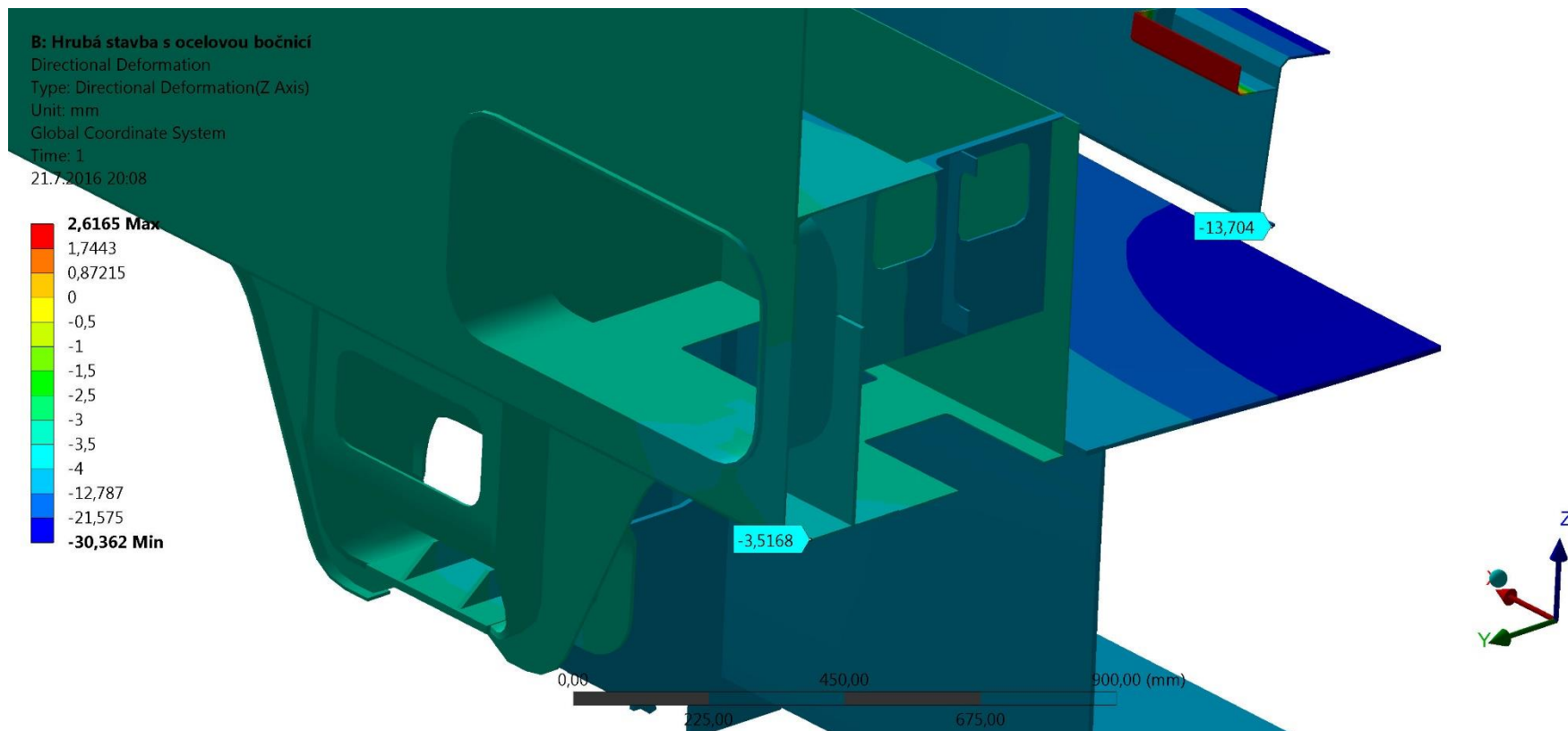
Obrázek 135 - Zatížení 1 000 kN na spřáhlo



B: Hrubá stavba s ocelovou bočnicí
Directional Deformation
Type: Directional Deformation(Z Axis)
Unit: mm
Global Coordinate System
Time: 1
21.7.2016 20:07

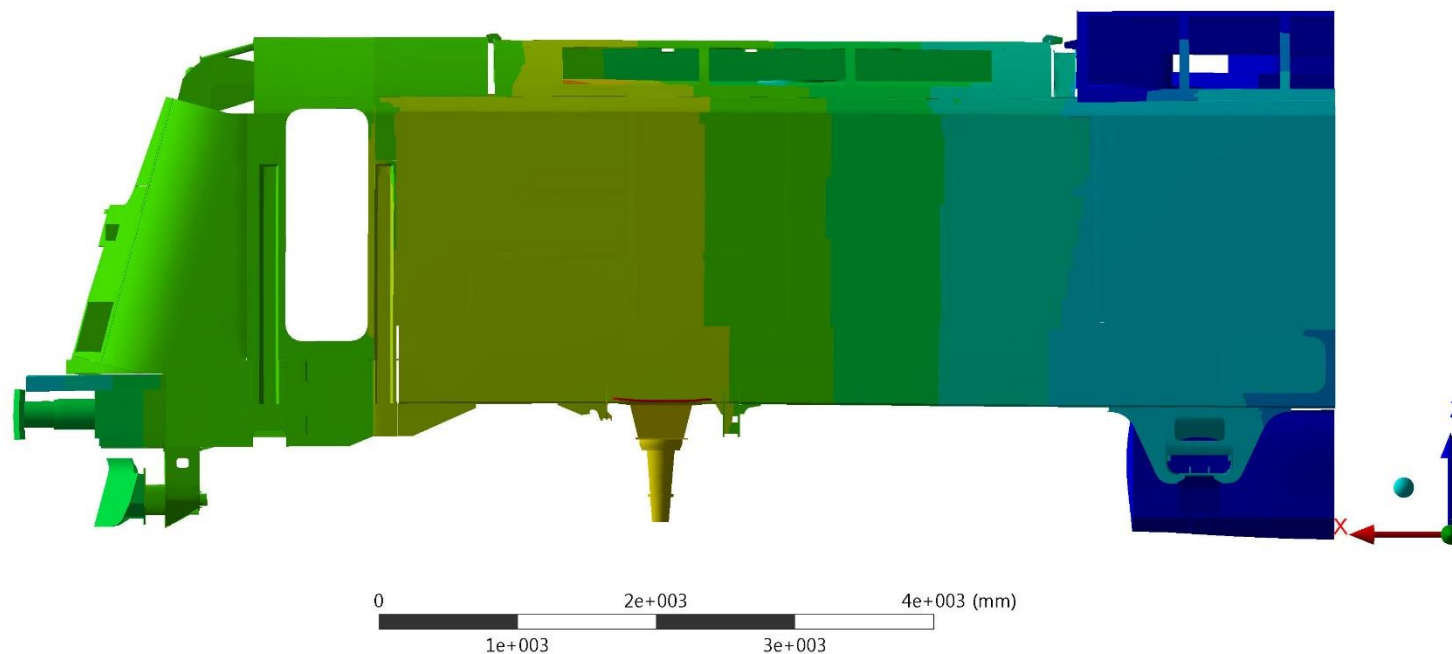
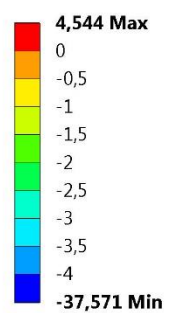


Obrázek 136 - Průhyb skříně při normálním provozním zatížení $g.m_1$

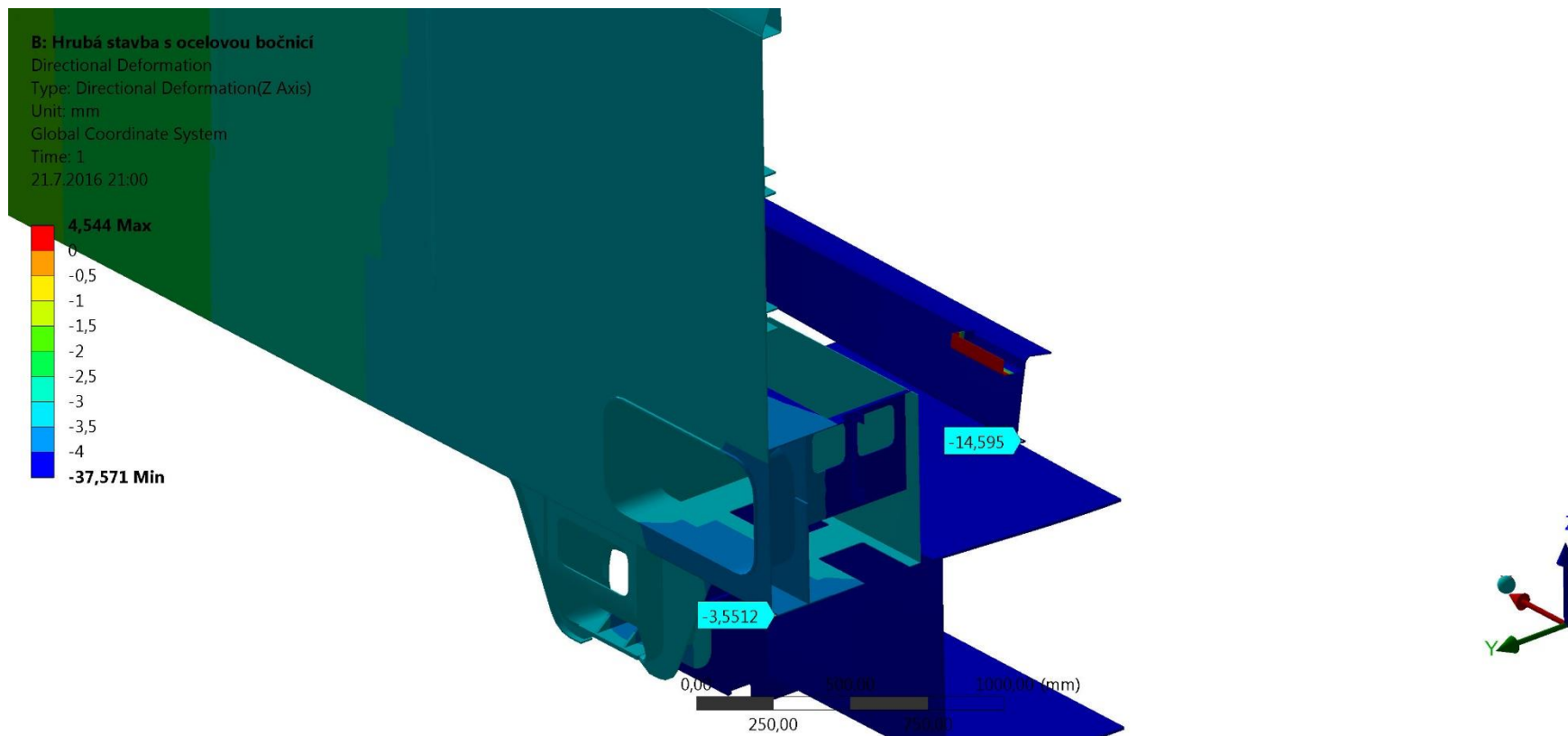


Obrázek 137 - Průhyb skříně při normálním provozním zatížení $g.m_1$

B: Hrubá stavba s ocelovou bočnicí
Directional Deformation
Type: Directional Deformation(Z Axis)
Unit: mm
Global Coordinate System
Time: 1
21.7.2016 20:51



Obrázek 138 - Průhyb skříně při maximálním provozním zatížení $1,3.g_{m1}$



Obrázek 139 - Průhyb skříně při maximálním provozním zatížení $1,3.g_{m1}$



M.11.6. **Komentář k výsledkům analýzy hrubé stavby s ocelovou bočnicí**

U hrubé stavby s ocelovou bočnicí dochází k výskytu oblastí, kde je překročena mez kluzu materiálu S355 podobně jako u hrubé stavby s hliníkovou bočnicí. V samotné konstrukci bočnice se neobjevují velká napětí. Deformace hrubé stavby při obou případech svislého zatížení je větší než u hrubé stavby s hliníkovou bočnicí.



N. ZÁVĚR

V diplomové práci byl proveden návrh dvou hrubých staveb: Hrubá stavba s bočnicí z hliníkových protlačovaných profilů a hrubá stavba s bočnicí z ocelových profilů a plechů. Vzhledem k hmotnosti byl k důkladnější analýze vybrán návrh s hliníkovou bočnicí.

V další části byla provedena téměř kompletní analýza hrubé stavby podle normy ČSN EN 12 663-1. Tato analýza ukázala, že navržená konstrukce by požadavky normy nesplnila. Při statickém namáhání dochází ke vzniku velkých napětí v přechodu z hlavního rámu a kabinového modulu. Dále jsou velmi namáhány spoje mezi bočnicí a kabinovým modulem, převážně ve spodní části bočnice. Pro další použití jsem navrhl následující postupy:

- Změnit spojení mezi kabinovým modulem a hlavním rámem tak, aby zatížení mezi těmito dvěma prvky bylo lépe rozneseno. Dále udělat hlavní rám robustnější, zvláště v místě přechodu. Tím by se bočnice stala v podstatě nenosnou.
- Navrhnout jiné spojení mezi kabinovým modulem a bočnicí tak, aby zatížení mezi těmito prvky bylo přenášeno rovnoměrně, tím by se stala bočnice nosnou.

Podobný problém se vyskytl u hrubé stavby s ocelovou bočnicí, kde opět v přechodu kabinový modul-hlavní rám vyšla místa, kde docházelo k překročení únosnosti spoje. Zároveň sloupky konstrukce vykazovaly malé hodnoty napětí a bylo by možné provést hmotnostní optimalizaci pro zmenšení hmotnosti bočnice. Pro další použití by bylo možné postupovat těmito směry:

- Změnit spojení mezi kabinovým modulem a hlavním rámem tak, aby zatížení mezi těmito dvěma prvky bylo lépe rozneseno. Dále udělat hlavní rám robustnější, zvláště v místě přechodu. Tím by se bočnice stala v podstatě nenosnou.
- Zvětšit počet horizontálních sloupků v bočnici a tím zvětšit celkovou únosnost spojení mezi kabinovým modulem a bočnicí. Dále hmotnostně optimalizovat celou rámovou konstrukci bočnice tak, aby byla lehčí a zároveň dokázala přenést potřebná zatížení.

Obě bočnice by pro reálnou konstrukci použitelné byly, avšak po důkladném překonstruování konstrukčních celků jako jsou spojení se zbylými prvky hrubé stavby a promyšlení jejich nové koncepce.

O. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Škoda 109e3 NIM	11
Obrázek 2 - Škoda 85e0 „Asynchron“	11
Obrázek 3 - Příklad husté železniční sítě v okolí 1. tranzitního koridoru (trať 091,090,083,814)	12
Obrázek 4 - Lokomotiva řady 375 „Hrboun“, vrchol Rakouské lokomotivní konstrukce	13
Obrázek 5 – Lokomotiva 556.0510 „Štokr“ poslední vyrobená parní lokomotiva v ČSR	14
Obrázek 6 – Lokomotiva řady 140 „Bobina“ první poválečná elektrická lokomotiva	14
Obrázek 7 – Lokomotiva řady 280 „Laminátka“ vystavená v Plzni	14
Obrázek 8 - Lokomotiva 350 „Gorila“	15
Obrázek 9 - Lokomotiva řady 363 „Eso“ a lokomotiva řady 163 „Pershing“	15
Obrázek 10 - Lokomotiva řady 131 „Dvojička“	15
Obrázek 11 - Lokomotivy řady 372 „Bastard“ a 371 „Turbobastard“	16
Obrázek 12 - Lokomotiva řady 184	16
Obrázek 13 - Původní design lokomotivy 380	17
Obrázek 14 - Moderní jednotka 660 „Interpanter“ - nejnovější elektrická jednotka od Škoda Vagónka	17
Obrázek 15 - Návrhové kolizní situace	18
Obrázek 16 - Diferenciální stavba skříně	19
Obrázek 17 – Integrální stavba skříně	20
Obrázek 18 - Hybridní stavba skříně	21
Obrázek 19 – Skříň lokomotivy 109e	23
Obrázek 20 - Škoda 109e rozmístění přístrojů	24
Obrázek 21 - Příklad rozmístění přístrojů u dvou-systémové lokomotivy	24
Obrázek 22 - Siemens Vectron	25
Obrázek 23 - Bombardier TRAXX	26
Obrázek 24 - Pesa Gama	27
Obrázek 25 - Newag Griffin	28
Obrázek 26 - Škoda 109e1 Emil Zátopek	29
Obrázek 27 - Siemens Vectron hrubá stavba	30
Obrázek 28 - Bombardier TRAXX hrubá stavba	31
Obrázek 29 - Pesa Gama hrubá stavba	32
Obrázek 30 - Newag Griffin hrubá stavba	33
Obrázek 31 - Škoda 109e hrubá stavba	34
Obrázek 32 - Siemens Vectron strojovna	35
Obrázek 33 - Bombardier TRAXX strojovna	35
Obrázek 34 - Pesa Gama strojovna	36
Obrázek 35 - Newag Griffin Strojovna	37

Obrázek 36 - Škoda 109e strojovna	38
Obrázek 37 - Prvotní návrh ocelové hrubé stavby	39
Obrázek 38 - Původní návrh spojení kabiny a bočnice	40
Obrázek 39 - Původní návrhy napojení mostu na bočnice	41
Obrázek 40 - Napojení bočnice na kabinový modul	43
Obrázek 41 - Řez profilu bočnice	44
Obrázek 42 - Napojení bočnice na hlavní rám	44
Obrázek 43 - Hrubá stavba s hliníkovou bočnicí	46
Obrázek 44 - Původní připojení plechů na sloupky	47
Obrázek 45 - Řez bočnicí a detail vaznice	48
Obrázek 46 - Hrubá stavba s ocelovou bočnicí	50
Obrázek 47 - Hrubé stavby síť	51
Obrázek 48 - Souřadnicový systém vozidla	52
Obrázek 49 - Zatížení tlakovou silou 2 000 kN na nárazníky vozidla	53
Obrázek 50 - Zatížení tlakovou silou 2 000 kN na spřáhla	54
Obrázek 51 - Zatížení tlakovou silou 500 kN působící na nárazníky na diagonálách	54
Obrázek 52 - Zatížení tahovou silou 1 000 kN na spřáhla	54
Obrázek 53 - Zatížení na čelo 400 kN vozidla 150 mm na úrovni podlahy	55
Obrázek 54 - Tlaková síla 300 kN na čelo ve výšce spodního rámu okna	55
Obrázek 55 - Maximální provozní zatížení (1,3.g.m ₁)	55
Obrázek 56 - Zvedání jednoho konce vozidla ve stanovených místech (zatížení 1,1.g.(m ₁ +m ₂))	56
Obrázek 57 - Zvedání celého vozidla ve stanovených zvedacích místech (zatížení 1,1.g. (m ₁ +2.m ₂))	56
Obrázek 58 - Zvedání celého vozidla ve stanovených zvedacích místech s posunem jednoho místa o 10 mm (zatížení 1,1.g.(m ₁ +2.m ₂))	56
Obrázek 59 - Zrychlení podvozku ±3.g	57
Obrázek 60 - Aerodynamické zatížení vozu v tunelu a při míjení dvou vozidel	58
Obrázek 61 - Dvojitá trakce	58
Obrázek 62 - Zatížení pluhu	59
Obrázek 63 - Zatížení sběrače	59
Obrázek 64 - Škoda 109e uložení skříně	61
Obrázek 65 - Škoda 109e deformace pružin při stání v oblouku	61
Obrázek 66 - Okrajové podmínky pro běžné zatěžovací stavy	62
Obrázek 67 - Okrajové podmínky pro zvedání vozidla	63
Obrázek 68 - Hmotné body na hrubé stavbě	65
Obrázek 69 - Geometrie modelu	66
Obrázek 70 - Síť modelu	67
Obrázek 71 - Rozložení materiálu na modelu	68



Obrázek 72 - Rozložení tloušťek materiálu na modelu	69
Obrázek 73 - Rozložení tloušťek materiálu na modelu	70
Obrázek 74 - Kombinace únavových zatížení	73
Obrázek 75 - Kritické místo 1	74
Obrázek 76 - Kritické místo 2	74
Obrázek 77 - Kritické místo 3	75
Obrázek 78 - Kritické místo 4	75
Obrázek 79 - Kritické místo 5	75
Obrázek 80 - Kritické místo 6	76
Obrázek 81 - Kritické místo 7	76
Obrázek 82 - Kritické místo 8	76
Obrázek 83 - Kritické místo 9	77
Obrázek 84 - Zatížení 2 000 kN na nárazníky	84
Obrázek 85 - Zatížení 2 000 kN na nárazníky	85
Obrázek 86 - Zatížení 2 000 kN na spřáhlo	86
Obrázek 87 - Zatížení 2 000 kN na spřáhlo	87
Obrázek 88 - Zatížení 1 000 kN na spřáhlo	88
Obrázek 89 - Zatížení 1 000 kN na spřáhlo	89
Obrázek 90 - Zatížení 500 kN na nárazníky na diagonále	90
Obrázek 91 - Zatížení 500 kN na nárazníky na diagonále	91
Obrázek 92 - Zatížení 400 kN na čelo 150 mm nad podlahou	92
Obrázek 93 - Zatížení 400 kN na čelo 150 mm nad podlahou	93
Obrázek 94 - Zatížení 300 kN na čelo pod rámem okna	94
Obrázek 95 - Zatížení 300 kN na čelo pod rámem okna	95
Obrázek 96 - Zvedání celého vozidla na stanovených zvedacích místech	96
Obrázek 97 - Zvedání celého vozidla ve stanovených zvedacích místech	97
Obrázek 98 - Zrychlení podvozku +3.g ve směru osy „x“	98
Obrázek 99 - Zrychlení podvozku +3.g ve směru osy „x“	99
Obrázek 100 - Zrychlení podvozku -3.g ve směru osy „x“	100
Obrázek 101 - Zrychlení podvozku -3.g ve směru osy „x“	101
Obrázek 102 - Mezní zatížení úchytů „x“	102
Obrázek 103 - Mezní zatížení úchytů „x“	103
Obrázek 104 - Mezní zatížení úchytů „y“	104
Obrázek 105 - Mezní zatížení úchytů „y“	105
Obrázek 106 - Mezní zatížení úchytů „z“	106
Obrázek 107 - Mezní zatížení úchytů „z“	107
Obrázek 108 - Zatížení skříně vnitřním přetlakem 3 800 Pa	108

Obrázek 109 - Zatížení skříně vnitřním přetlakem 3 800 Pa	109
Obrázek 110 - Průhyb skříně při normálním provozním zatížení $g.m_1$	110
Obrázek 111 - Průhyb skříně při normálním provozním zatížení $g.m_1$	111
Obrázek 112 - Průhyb skříně při normálním provozním zatížení $g.m_1$	112
Obrázek 113 - Průhyb skříně vozidla při maximálním provozním zatížení $1,3.g.m_1$	113
Obrázek 114 - Průhyb skříně vozidla při maximálním provozním zatížení $1,3.g.m_1$	114
Obrázek 115 - Průhyb skříně vozidla při maximálním provozním zatížení $1,3.g.m_1$	115
Obrázek 116 - Bezpečnost proti mezi únavy	116
Obrázek 117 - Bezpečnost proti mezi únavy	117
Obrázek 118 - Životnost součástí do lomu	118
Obrázek 119 - Životnost součástí do lomu	119
Obrázek 120 - Podélný kmit při frekvenci 1,6796 Hz	120
Obrázek 121 - Příčný kmit při frekvenci 5,5507 Hz	121
Obrázek 122 - Příčný kmit při frekvenci 9,4339 Hz	122
Obrázek 123 - Příčný kmit při frekvenci 12,171 Hz	123
Obrázek 124 - Torzní kmit při frekvenci 25,665 Hz	124
Obrázek 125 - Torzní kmit při frekvenci 33,103 Hz	125
Obrázek 126 - Podélný kmit při frekvenci 41,575 Hz	126
Obrázek 127 - Geometrie modelu	129
Obrázek 128 - Síť modelu	130
Obrázek 129 - Rozložení materiálu na modelu	131
Obrázek 130 - Rozložení tloušťek materiálu na modelu	132
Obrázek 131 - Rozložení tloušťek materiálu na modelu	133
Obrázek 132 - Zatížení 2 000 kN na nárazníky	135
Obrázek 133 - Zatížení 2 000 kN na nárazníky	136
Obrázek 134 - Zatížení 1 000 kN na spřáhlo	137
Obrázek 135 - Zatížení 1 000 kN na spřáhlo	138
Obrázek 136 - Průhyb skříně při normálním provozním zatížení $g.m_1$	139
Obrázek 137 - Průhyb skříně při normálním provozním zatížení $g.m_1$	140
Obrázek 138 - Průhyb skříně při maximálním provozním zatížení $1,3.g.m_1$	141
Obrázek 139 - Průhyb skříně při maximálním provozním zatížení $1,3.g.m_1$	142

P. SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 - Siemens Vectron charakteristiky</i>	25
<i>Tabulka 2 - Bombardier TRAXX charakteristiky</i>	26
<i>Tabulka 3 - Pesa Gama charakteristiky</i>	27
<i>Tabulka 4 - Newag Griffin charakteristiky</i>	28
<i>Tabulka 5 - Škoda 109e charakteristiky</i>	29
<i>Tabulka 6 - Mechanické vlastnosti hliníkových slitin</i>	45
<i>Tabulka 7 - Mechanické vlastnosti oceli S355</i>	49
<i>Tabulka 8 - Hmotnostní rozbor vozidla</i>	53
<i>Tabulka 9 - Hmotné body na hrubé stavbě a poloha jejich těžiště</i>	64
<i>Tabulka 10 - Materiály použité pro výpočet hrubé stavby</i>	67
<i>Tabulka 11 - Kombinace statických zatížení</i>	71
<i>Tabulka 12 - Kombinace únavových zatížení</i>	72
<i>Tabulka 13 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zatížení 2 000 kN na nárazníky</i>	79
<i>Tabulka 14 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zatížení 2000 kN na spřáhlo</i>	79
<i>Tabulka 15 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zatížení 1 000 kN na spřáhlo</i>	80
<i>Tabulka 16 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zatížení 500 kN na nárazníky</i>	80
<i>Tabulka 17 - Vypočtené napětí v kritických místech pro zatížení 400 kN na čelo vozidla</i>	81
<i>Tabulka 18 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zatížení 300 kN na čele</i>	81
<i>Tabulka 19 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zrychlení podvozku</i>	82
<i>Tabulka 20 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zpomalení podvozku</i>	82
<i>Tabulka 21 - Vypočtená napětí v kritických místech pro zvedání celého vozidla</i>	83
<i>Tabulka 22 - Materiály použité pro výpočet hrubé stavby</i>	130
<i>Tabulka 23 - Kombinace statických zatížení</i>	134

Q. REFERENCE

Dostál, Josef a Heller, Petr. 2007. Kolejová vozidla I. *vysokoškolská skripta*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2007. ISBN 978-80-7043-520-5.

Doubrava, Daniel. 2014. Pevnostní analýza hrubé stavby skříně lokomotivy 109e3. *Pevnostní výpočet*. Plzeň : Škoda Transportation a.s., 2014. Lo483-VZ-14.

Heller, Petr a Dostál, Josef. 2009. Kolejová vozidla II. *vysokoškolská skripta*. Plzeň : Západočeská univerzita, 2009. ISBN 978-80-7043-641-7.

Kopecký, Dobroslav, a další. 1989. Železnice v československé dopravní soustavě. *odborná publikace*. Praha : Nadas, 1989. ISBN 80-7030-024-8.

Nohovcová, Ladislava. 2012. Škodovácké lokomotivy, tramvaje a trolejbusy ve fotografiích a dokumentech. Plzeň : Starý most, 2012. ISBN 978-80-87338-20-9.

Škoda Transportation a.s. 2014. LO532494 - Hlavní rám střed. *Výkres sestavy*. 2014.

Škoda Transportation a.s. 2014. LO534274 - Střecha první. *Výkres sestavy*. 2014.

Škoda Transportation a.s. 2014. LO528814 - Bočnice. *Výkres sestavy*. 2014.

Škoda Transportation a.s. 2014. LO528893 - Kabinový modul. *Výkres sestavy*. 2014.

Škoda Transportation a.s. 2014. LO532493 - Hrubá stavba skříně. *Výkres sestavy*. 2014.

Škoda Transportation a.s. 2014. LO532727 - Most střední. *Výkres sestavy*. 2014.

Škoda Transportation a.s. 2014. LO532728 - Most střední - svod. *Výkres sestavy*. 2014.

Škoda Transportation a.s. 2014. LO534282 - Střecha třetí. *Výkres sestavy*. 2014.

Škoda Transportation a.s. 2014. LO534363 - Střecha střední. *Výkres sestavy*. 2014.

ÚNMZ. 2010. ČSN EN 12 663-1 Železniční aplikace - Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel - Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy(a alternativní metoda pro nákladní vozy). *Technická norma*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.

VÚKV a.s. 2014. 13-C 076, NIM Express - aerodynamic concept of the new double-decker coaches and Push-Pull train consisting of these coaches and locomotive. *Aerodynamický výpočet soupravy NIM a lokomotivy 109e3*. 2014.



R. PŘÍLOHY

- *Výkres sestavy hrubé stavby s hliníkovou bočnicí*
- *Výkres sestavy hliníkové bočnice*
- *Výkres sestavy hrubé stavby s ocelovou bočnicí*
- *Výkres sestavy ocelové bočnice*



S. VYSVĚTLENÍ PŘEZDÍVEK LOKOMOTIV³⁵

- „Asynchron“ – podle použití asynchronních trakčních motorů, poprvé u lokomotiv Škoda
- „Hrboun“ – podle typického tvaru kotle
- „Štokr“ – podle výrobce automatického přidavače uhlí
- „Bobina“ – podle uspořádání podvozku „**Bo’Bo**“ (dva dvounápravové podvozky s všemi dvojkolími hnacími)
- „Laminátka“ – podle materiálu skříně: skelného laminátu
- „Gorila“ – podle mohutnosti, výkonu a vzhledu čel lokomotivy
- „Eso“ – podle dřívějšího značení dvou-systémových lokomotiv ES, lokomotiva je také velmi spolehlivá.
- „Pershing“ – podle počáteční nespolehlivosti „rychlý start a krátký dolet“, podobně jako u raket Pershing rozmístěné v záp. Evropě
- „Dvojička“ – podle složení lokomotivy ze dvou stejných dílů
- „Bastard“ – podle použití zastaralého technického řešení a malé provozní spolehlivosti
- „Turbobastard“ – podle úpravy které umožnila jet lokomotivě 372 rychlostí 160 km/h, spíše se používá jen název „Bastard“
- „Gottlieb“ – podle původu stroje 371 201-5 z Německa (původně 180 001-0), všechny lokomotivy řady 371 mají jména:
371 001-9 – Lucka, 371 002-7 – Jožin, 371 003-5 – Jana
371 004-3 – Otík, 371 005-0 – Pepin, 371 015-9 – Václav
- „Interpanter“ – podle oficiálního názvu jednotky 440 „Regiopanter“ vzhled čela připomíná šelmu

³⁵ Zpracováno podle

https://cs.wikipedia.org/wiki/Přezdívký_českých_a_slovenských_železničních_vozidel#Elektrick.C3.A9_lokomotivy_2