

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

NÁVRH RÁMU SKŘÍŇOVÉ LOKOMOTIVY

Bc. Jiří Štembírek

Diplomová práce

2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří Štembírek**
Osobní číslo: **D17378**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Kolejová vozidla**
Název tématu: **Návrh rámu skříňové lokomotivy**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Provedte koncepční návrh hlavního rámu skříňové motorové čtyřnápravové lokomotivy se zadaným typem podvozků. V rámci návrhu se zabývejte též uspořádáním strojovny s ohledem na umístěných potřebných trakčních komponent při požadavku pouze jedněch vstupních dveří do strojovny z každého stanoviště strojvedoucího. Vypracujte:

1. rešerši produkce současných skříňových motorových lokomotiv;
2. návrh uspořádání strojovny;
3. návrh koncepce hlavního rámu lokomotivy;
4. základní pevnostní ověření navržené koncepce hlavního rámu (posouzení na statickou pevnost);
5. typový výkres lokomotivy;
6. výkres koncepce hlavního rámu včetně vybraných příčných řezů.

Rozsah grafických prací: **podle pokynů vedoucího DP**

Rozsah pracovní zprávy: **50 až 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

[1] HÖSCHL C.: Pružnost a pevnost ve strojnictví. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1971, 376 s.

[2] KŘÍŽ R., VÁVRA P.: Strojírenská příručka (5. svazek). SCIENTIA, spol. s. r. o., 1994, 241 s. ISBN 80-85827-59-X.

[3] Dokumentace společnosti CZ LOKO a.s.

[4] ČSN EN 12663-1+A1. Železniční aplikace - Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel - Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (a alternativní metoda pro nákladní vozy).

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Aleš Hába, Ph.D.**

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů

Datum zadání diplomové práce: **15. února 2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **20. května 2019**



doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.



Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 15. února 2019

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Při zpracování této diplomové práce byly využity technologie Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne 30. 3. 2019

Bc. Jiří Štembírek

Mé poděkování za cenné rady a připomínky patří předně vedoucímu této diplomové práce, Ing. Aleši Hábovi, Ph.D. Za pomoc s pevnostními výpočty a značnou trpělivost při jejich řešení velice děkuji panu doc. Ing. Petru Tomkovi, Ph.D. Nesmím opomenout poděkovat kolektivu ze společnosti CZ LOKO, jmenovitě Ing. Michalu Benickému, Jakubu Džurnému, Ing. Lukáši Hauptovi a Ing. Janu Kopalovi, kteří mi byli se svými radami a názory k dispozici kdykoliv bylo třeba a pro vytvoření této práce mi poskytovali veškeré potřebné podklady. Za konzultace a odborné rady dále děkuji Ing. Ondřeji Janišovi a p. Ing. Martinu Kohoutovi, Ph.D. Závěrem bych rád vyjádřil vděčnost svým rodičům za vhodné rodinné zázemí a celkovou podporu při studiu.

V Pardubicích dne 30. 3. 2019

Bc. Jiří Štembírek

ANOTACE

Diplomová práce se zabývá koncepčním návrhem nové skříňové dieselelektrické lokomotivy se střídavě-střídavým přenosem výkonu, se zaměřením na hlavní rám lokomotivy a jeho dimenzování pro předepsané silové účinky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hlavní rám, dieselelektrická skříňová lokomotiva, asynchronní přenos výkonu, CZ LOKO, Metoda konečných prvků (MKP), ČSN EN 12663.

TITLE

Design of the locomotive main frame

ANOTATION

The diploma thesis deals with the conceptual design of a new AC/AC diesel-electric locomotive, focusing on the main frame of the locomotive and its dimensioning for the prescribed force effects.

KEY WORDS

Main frame, diesel-electric locomotive, AC/AC power transmission, CZ LOKO, Finite element method (FEM), ČSN EN 12663.

OBSAH

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | ÚVOD..... | 14 |
| 1.1 | Cíle práce | 14 |
| 1.2 | Úvod do problematiky | 14 |
| 1.3 | Motivace k vývoji nové lokomotivy | 16 |
| 1.4 | Hlavní požadavky | 17 |
| 1.4.1 | Nápravové zatížení | 18 |
| 2 | REŠERŠE SOUČASNÉ PRODUKCE MOT. TRAŤOVÝCH LOKOMOTIV | 19 |
| 2.1 | Vectron DE, výrobce Siemens Mobility | 19 |
| 2.2 | TRAXX DE, výrobce Bombardier Transportation | 21 |
| 2.3 | Gama 111Db, výrobce PESA Bydgoszcz | 23 |
| 2.4 | UKLight, výrobce Vossloh/Stadler Rail | 24 |
| 2.5 | Porovnání uvedených lokomotiv | 26 |
| 3 | NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ STROJOVNY | 28 |
| 3.1 | Uspořádání strojovny | 28 |
| 3.1.1 | Varianty průchozí uličky | 28 |
| 3.1.2 | Hodnocení z hlediska max. plochy pro komponenty strojovny | 29 |
| 3.1.3 | Hodnocení z hlediska shodnosti stěn mezi strojovnou a kabinami | 30 |
| 3.1.4 | Hodnocení z hlediska počtu vstupních dveří z kabin do strojovny | 31 |
| 3.1.5 | Výběr nejvhodnější varianty uspořádání strojovny | 31 |
| 3.2 | Prostorové nároky prvků trakční výzbroje a pomocných pohonů | 32 |
| 3.2.1 | Motorgenerátor | 32 |
| 3.2.2 | Blok chlazení spalovacího motoru..... | 33 |
| 3.2.3 | Komponenty pneumatické výzbroje | 34 |
| 3.2.4 | Komponenty elektrické výzbroje..... | 35 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.2.5 | Palivová nádrž + nádrž na AdBlue | 36 |
| 3.3 | Finální návrh uspořádání strojovny..... | 37 |
| 3.3.1 | Kontrola polohy těžiště navrhovaného uspořádání strojovny..... | 39 |
| 4 | NÁVRH HLAVNÍHO RÁMU | 43 |
| 4.1 | Rozměrové požadavky na hlavní rám | 43 |
| 4.1.1 | Výška horní roviny hlavního rámu | 43 |
| 4.1.2 | Délka hlavního rámu..... | 44 |
| 4.1.3 | Šířka hlavního rámu..... | 45 |
| 4.1.4 | Shrnutí rozměrových požadavků na hlavní rám (skříň)..... | 51 |
| 4.2 | Hmotnostní požadavky na hlavní rám..... | 51 |
| 4.3 | Pevnostní požadavky na hlavní rám..... | 53 |
| 4.3.1 | Statická pevnost | 53 |
| 4.3.2 | Nárazová odolnost | 55 |
| 4.4 | Koncepční návrh rámu | 56 |
| 4.4.1 | Střední část rámu | 57 |
| 4.4.2 | Čelní část rámu | 58 |
| 4.4.3 | Zvedací místa..... | 59 |
| 4.4.4 | Provedení skříně | 61 |
| 5 | PEVNOSTNÍ OVĚŘENÍ NAVRŽENÉ KONSTRUKCE | 66 |
| 5.1 | Popis výpočtového modelu | 66 |
| 5.2 | Vlastnosti použitého materiálu..... | 69 |
| 5.3 | Zatížení rámu | 69 |
| 5.4 | Výsledky statických pevnostních výpočtů | 71 |
| 5.4.1 | Tlaková síla v místech uchycení nárazníků | 72 |
| 5.4.2 | Tlaková síla působící na uchycení nárazníků úhlopříčně | 74 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.4.3 | Tahová síla na uchycení spřáhla | 76 |
| 5.4.4 | Maximální provozní zatížení | 78 |
| 5.4.5 | Zdvihání a zvedání ve stanovených místech na jednom konci vozidla | 80 |
| 5.4.6 | Zdvihání a zvedání na jednom konci vozidla – zesílená varianta | 82 |
| 5.4.7 | Zdvihání a zvedání celého vozidla na stanovených místech | 85 |
| 5.4.8 | Zdvihání a zvedání při posunutí opěrného místa | 88 |
| 5.4.9 | Mezní zatížení spojení skříně s podvozkem – podélné | 90 |
| 5.4.10 | Mezní zatížení spojení skříně s podvozkem – podélné – zesílená varianta..... | 92 |
| 5.4.11 | Mezní zatížení spojení skříně s podvozkem – příčné | 94 |
| 5.4.12 | Statické zatížení v ose smetadla překážek | 96 |
| 5.4.13 | Statické zatížení ve vzdálenosti 750 mm příčně od osy smetadla překážek..... | 98 |
| 5.5 | Zhodnocení pevnostních analýz..... | 100 |
| 6 | VZHLED LOKOMOTIVY | 102 |
| | ZÁVĚR..... | 104 |
| | SEZNAM LITERATURY | 105 |
| | SEZNAM PŘÍLOH | 109 |

SEZNAM ZKRATEK

| Zkratka | Význam |
|---------|---|
| AC | Alternative current – střídavý proud |
| AC/AC | střídavě-střídavý přenos výkonu |
| ČD | České dráhy |
| ČR | Česká republika |
| ČKD | Českomoravská-Kolben-Daněk |
| DC | Direct current – stejnosměrný proud |
| DFJP | Dopravní fakulta Jana Pernera |
| EDB | elektrodynamická brzda |
| ETCS | European Train Control System – jednotný evropský vlakový zabezpečovací systém |
| GVD | grafikon vlakové dopravy |
| HVAC | Heating, ventilation and air conditioning – topení, větrání a klimatizace |
| MKP | Metoda konečných prvků |
| MS | Multi-System – vícesystémová lokomotiva |
| ÖBB | Österreichische Bundesbahnen – Rakouské federální dráhy |
| PP | pomocné pohony (kompresor, ventilátory chlazení apod.) |
| SM | spalovací motor |
| SR | Slovenská republika |
| SŽDC | Správa železniční dopravní cesty |
| TK | temeno kolejnice (zpravidla myšleno jako rovina temen kolejnic) |
| TSI | Technical Specification for Interoperability – Technické specifikace pro interoperabilitu |
| UIC | Union Internationale des Chemins de fer – Mezinárodní železniční unie |
| VCHTM | ventilátor chlazení trakčních motorů |
| VN | vysoké napětí |
| VVCD | Výukové a výzkumné centrum v dopravě (pracoviště Univerzity Pardubice) |
| VZ | vlakový zabezpečovač |

SEZNAM SYMBOLŮ

| Symbol | Jednotka | Význam veličiny |
|--------------|------------------------|---|
| a | [m] | vzdálenost otočných čepů vozidla |
| d | [m] | rozchod dvojkolí zmenšený opotřebením |
| E_a | [m] | zúžení skříně vně otočných čepů vozidla |
| E_i | [m] | zúžení skříně mezi otočnými čepy vozidla |
| F_y | [N, kN] | příčná síla vyvolaná deformací II. vypružení |
| g | [m · s ⁻²] | tíhové zrychlení |
| G | [N, kN] | tíhová síla skříně vozidla |
| G_p | [N, kN] | tíhová síla podvozku |
| h | [m] | výška dané části vozidla nad rovinou TK |
| h_c | [m] | výška pólu náklonu nad rovinou TK |
| m_1 | [kg] | konstrukční hmotnost skříně vozidla v provozním stavu |
| m_2 | [kg] | konstrukční hmotnost jednoho podvozku |
| m_i | [kg] | hmotnost daného prvku stroje |
| M_i | [kg] | hmotnost na nápravu |
| n_a | [m] | vzdálenost daného místa směrem k čelníku od bližšího ot. čepu |
| n_i | [m] | vzdálenost daného místa směrem k středu od bližšího ot. čepu |
| p | [m] | rozvor náprav podvozku |
| q | [m] | příčná vůle v ložiskách |
| Q_i | [N, kN] | tíha vozidla připadající na i-té dvojkolí |
| Q_{ii} | [N, kN] | svisla kolová síla |
| R | [N/mm ²] | mez pružnosti nebo 0,2% smluvní mez kluzu materiálu |
| R_d | [N/mm ²] | vypočítané napětí v daném místě |
| R_L | [N/mm ²] | mezí hodnota napětí |
| s | [–] | součinitel náklonu |
| S | [–] | bezpečnostní součinitel |
| S_l | [–] | bezpečnostní součinitel pro mez pružnosti nebo kluzu |
| t | [mm] | jmenovitá tloušťka plechu |
| U | [–] | využití prvku |
| w_∞ | [m] | příčná vůle v uložení skříně |
| $w_{i(250)}$ | [m] | příčná vůle mezi skříní a podvozkem |

| Symbol | Jednotka | Význam veličiny |
|---------------|----------------------|---|
| x | [m, mm] | posuv v podélném směru |
| x_i | [m] | podélná vzdálenost i-tého prvku od příčné osy vozidla |
| X_T | [m] | podélná vzdálenost těžiště lokomotivy od příčné osy vozidla |
| y | [m, mm] | posuv v příčném směru |
| y_i | [m] | příčná vzdálenost i-tého prvku od podélné osy vozidla |
| Y_T | [m] | příčná vzdálenost těžiště lokomotivy od příčné osy vozidla |
| z | [m, mm] | posuv v svislém směru |
| z_{cin} | [m] | kinematické zúžení |
| η_0 | [°] | vliv nesymetrie (konstrukce, tuhosti vypružení,...) |
| σ_c | [N/mm ²] | vypočítané napětí v daném místě |

1 ÚVOD

1.1 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je provést koncepční návrh hlavního rámu zcela nové skříňové dieselelektrické lokomotivy s výkonem přibližně 2 MW, s asynchronním přenosem výkonu. Lokomotiva bude plně v souladu s platnou legislativou, zejména s předpisy TSI, a bude navazovat na dosavadní vývoj produktového portfolia společnosti CZ LOKO, ve kterém zatím skříňová lokomotiva zcela nové konstrukce chybí.

V úvodu této práce je zpracována rešerše současné produkce traťových motorových lokomotiv skříňové konstrukce. Další část se zabývá vypracováním koncepce uspořádání strojovny nové lokomotivy, včetně hmotnostní a prostorové rozvahy, což poslouží jako základ pro návrh hlavního rámu lokomotivy. Hlavní částí je pevnostní ověření navržené koncepce rámu na statickou pevnost za pomoci metody konečných prvků (dále jen MKP). Závěry zjištěné v této práci mohou posloužit jako základ pro případnou realizaci lokomotivy obdobných parametrů společností CZ LOKO, která je zadavatelem tohoto tématu.

1.2 Úvod do problematiky

V úvodu této diplomové práce, která se zabývá vývojem zcela nové skříňové dieselelektrické lokomotivy, je vhodné si položit otázku, zda takový počín má při dnešní situaci v kolejové dopravě vůbec význam. Podíváme-li se na současný provoz motorových lokomotiv na kolejích SŽDC, je zde již několik posledních let zřejmý trend postupného útlumu používání výkonných traťových motorových lokomotiv v osobní dopravě na neelektrizovaných tratích. Klasické těžké soupravy osobních vozů tažených motorovou lokomotivou jsou čím dál častěji nahrazovány lehkými ucelenými jednotkami, které se v dobách vyšší přepravní poptávky spojují často i do trojic. V regionální dopravě nabízejí vysoký komfort a značné zrychlení díky výhodnému poměru výkonu k vlastní hmotnosti. Výhodou na kratších vozebních ramenech je také odpadnutí nutnosti objíždět soupravu v koncových stanicích.

Podíváme-li se podrobněji na situaci v GVD 2018/2019, dosud nejintenzivnější pravidelný provoz motorových lokomotiv s osobními vozy lze pozorovat na trati Ostrava – Frenštát pod Radhoštěm (č. 323). Do budoucna je zde však očekávána elektrizace a nahrazení těchto vlaků soupravami s elektrickými lokomotivami. Na jiných regionálních tratích zpravidla klasické soupravy zajišťují již jen ty nejvytíženější špičkové nebo sezónní turistické spoje a ostatní jsou vedeny motorovými vozy/jednotkami. Vzhledem k plánovaným nebo již probíhajícím výběrovým řízením na zajištění dopravní obslužnosti krajů na další období lze do budoucna očekávat další pokles výkonů klasických motorových lokomotiv v regionální dopravě a jejich nahrazování moderními jednotkami, které budou splňovat požadavky krajů, zejména určitý podíl nízkopodlažnosti.

V dálkové osobní dopravě lze klasické soupravy vídat na několika relacích dosud bez výraznějších změn. Kupříkladu rychlíky relace Brno – Plzeň tažené v úseku Brno – Jihlava motorovými lokomotivami řady 750.7 nebo 754, dále rychlíky Praha – Trutnov v úseku Hradec Králové – Trutnov s lokomotivami stejných řad a další. Obecně lze říci, že v dálkové dopravě bývají motorové lokomotivy využívány pouze v části trasy, která nebyla dosud elektrizována a kvůli ekonomické efektivitě ji ani v budoucnu nelze příliš očekávat. Pokud tedy bude i v následujících letech zachován rozsah dálkových linek ve shodné podobě jako nyní, tj. bez rozvázání v místech, kde končí elektrizace, nelze příliš očekávat úbytek výkonů motorových lokomotiv v dálkové dopravě. Otázka návratnosti investice do zcela nových traťových lokomotiv pro tyto výkony je však diskutabilní. Naopak již nyní vyvstávají problémy s nedostatkem náhradních dílů morálně zastaralých lokomotiv řady 754, které jsou i přes provedené komplexní modernizace 19 „Brejlovců“ řady 750 na řadu 750.7 stále v provozu nenahraditelné. Určitý úbytek výkonů pro motorové traťové lokomotivy v dálkové dopravě však od GVD 2019/20 přinese změna dopravců na několika dálkových linkách, objednávaných Ministerstvem dopravy. Kupříkladu na lince R24 Praha – Rakovník, kterou nově bude provozovat dopravce ARRIVA vlaky, dojde k nahrazení nyní nasazovaných souprav s lokomotivami 750.7 ČD motorovými vozy řady 845 původem z Německa. [1]

V nákladní dopravě je situace poněkud složitější. Na mnoha regionálních tratích se dosud vyskytují tzv. manipulační vlaky, přepravující zpravidla jednotlivé vozové zásilky, jejichž vytížení ale nebývá konstantní. Na jejich dopravu obvykle postačují méně výkonné motorové lokomotivy (typicky řada 742). Dále jsou v ČR provozovány manipulační vlaky v horských oblastech (např. Jesenicko), kde jsou z důvodu náročných sklonových poměrů využívány výkonné skříňové motorové lokomotivy (řada 753.7, příp. 750). Provoz těchto vlaků je obvykle závislý zejména na těžbě dřeva v dané oblasti. Dále existuje nemnoho relací, kde jsou provozovány ucelené nákladní vlaky v nezávislé trakci, např. obsluha závodu Škoda Auto v Mladé Boleslavi, nebo uhelné vlaky zásobující elektrárnu v Trutnově a další. Zde jsou využívány výkonné motorové lokomotivy (nejčastěji řada 753.7 nebo 750) i ve dvojité trakci, příp. s postrkem. Lze tedy obecně říci, že dosud existují a i do budoucna budou existovat ojedinělé případy, kde je výkonná motorová lokomotiva zatím nenahraditelná. Stejně tak jsou motorové traťové lokomotivy v provozu u mnoha soukromých dopravců.

Podívejme se ještě v krátkosti na situaci v nákladní dopravě na Slovensku. Na celé řadě neelektrizovaných tratí je dosud udržován poměrně čilý provoz manipulačních nebo relačních vlaků s motorovými lokomotivami a vzhledem k celkově nízké intenzitě provozu lze jen stěží očekávat výraznější elektrizace těchto tratí. V provozu je zde stále velké množství původních lokomotiv řady 751 a 752, které zcela nepochybně nelze provozovat donekonečna. Pokud tedy bude zachována nákladní doprava v obdobném rozsahu, bude nezbytné investovat do pořízení nových nebo značně modernizovaných lokomotiv. Je však otázkou, zda je provoz

některých manipulačních vlaků s těmito lokomotivami ekonomicky udržitelný, nebo bude postupně docházet spíše k dalšímu přesunu nákladní dopravy na silnice.

Potenciál pro výkonné motorové lokomotivy tedy bude v určité míře existovat i do budoucna, ale pořízení takové lokomotivy musí být ekonomicky odůvodnitelné, což nelze příliš očekávat u segmentu jednotlivých vozových zásilek, kde jsou tyto lokomotivy využívány nejčastěji.

1.3 Motivace k vývoji nové lokomotivy

Společnost CZ LOKO je přední český výrobce zejména dieselelektrických lokomotiv a speciálních drážních vozidel. V prvopočátcích své existence se společnost zaměřovala výhradně na opravy a modernizace starších lokomotiv a postupným vývojem se začala prosazovat také s vlastními nově vyvinutými stroji. Za historický milník tohoto vývoje lze považovat rok 2008, kdy z bran jihlavského závodu vyjela dvounápravová lokomotiva řady 719.701 zcela nové konstrukce s asynchronním přenosem výkonu, ojničkovým vedením dvojkolí a kotoučovými brzdami. Kromě prototypu však k žádné sériové výrobě nedošlo. Podstatné však bylo získání zkušeností s novými moderními prvky, které byly následně využity při dalším vývoji. [2]

Na dvounápravový stroj 719.701 o několik let později navázal vývoj nové čtyřnápravové lokomotivy řady 744.001 rovněž s AC/AC přenosem výkonu a s dvounápravovými podvozky nové konstrukce, na jejichž návrhu se podílela Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice. Tato lokomotiva se – na rozdíl od stroje 719.701 – dočkala i sériové výroby, byť v mírně pozměněné podobě jako řada 744.1.

Co se týče současného produktového portfolia CZ LOKO, dosud je stále většina produkce lokomotiv zastoupena komplexními modernizacemi, kdy z původních lokomotiv je zachován pouze hlavní rám a pojezd, zatímco kapoty (skříň) a kabiny jsou řešeny jako novostavba. Do budoucna by se však produkce měla otočit ve prospěch výroby zcela nových lokomotiv v různých výkonnostních kategoriích. V oblasti kapotových lokomotiv již vlastní produkty existují – nejmenší dvounápravová řada 794 (obchodní označení EffiShunter 300) a výše zmíněná řada 744.1 (EffiShunter 1000). V kategorii traťových skříňových lokomotiv je produkce založena na modernizaci původních lokomotiv řad 750 a 753 v různém rozsahu, z nichž ta nejvýraznější – řada 753.6 – spočívá kromě nového motorogenerátoru a pomocných pohonů v náhradě celé skříňe a kabin novými vlastní konstrukce. Zcela zřejmou motivací je tedy doplnění produktového portfolia o traťovou lokomotivu zcela nové konstrukce s asynchronním přenosem výkonu, která by v budoucnu nahradila dosavadní modernizace „Brejlovců“.

1.4 Hlavní požadavky

Pro samotný návrh nové lokomotivy je nezbytné stanovení požadavků, definujících parametry pohonu, vnějších rozměrů, nejvyšší přípustné hmotnosti, uspořádání strojovny atd. Vzhledem k tomu, že se bude jednat o neadresný prototyp v rámci vlastního vývoje společnosti CZ LOKO, je třeba tyto parametry stanovit na základě předešlých zkušeností a analýzy trhu (viz kapitola 2) a nikoliv podle požadavků konkrétního zákazníka. Má-li se však jednat o nástupce řady 753.6, je zřejmý minimální požadavek na výkon spalovacího motoru – alespoň 1500 kW. Od rozměrů spalovacího motoru se následně budou odvíjet další související parametry lokomotivy, zejména délka a hmotnost, jelikož motorgenerátor je nejrozměrnější a nejtěžší částí celé lokomotivy. Další základní požadavky, vycházející ze zadání práce, příp. z obecných vlastností lokomotiv současné produkce CZ LOKO, jsou následující:

- lokomotiva zcela nové konstrukce v souladu s TSI;
- skříňové uspořádání se dvěma krajními kabinami strojvedoucího a průchozí strojovnou;
- shodné uspořádání vstupních dveří z kabin do strojovny na obou kabinách;
- vstup z kabin do strojovny vždy pouze jedněmi dveřmi;
- pojezd lokomotivy převzatý z řady 744.1 bez konstrukčních zásahů (pouze s nutnými úpravami, např. tuhosti vypružení);
- maximální možná míra unifikace komponentů s jinými produkty CZ LOKO;
- minimální výkon spalovacího motoru 1500 kW;
- výrobce spalovacího motoru Caterpillar;
- SM respektující emisní limity Stage IIIB;
- asynchronní přenos výkonu s individuálním řízením každého trakčního motoru;
- možnost vlakového topení napájeného přímo z trakčního alternátoru, tj. bez zvláštního topného alternátoru;
- pomocné pohony (kompresor, ventilátory,...) v elektrickém provedení s napájením z třífázové pomocné sítě 3x400 V;
- maximální rychlost 120 km/h, ideálně však 140 km/h (bude nutné ověřit jízdní vlastnosti podvozků v této rychlosti);
- nová konstrukce bočnic lokomotivy oproti řadě 753.6, ideálně bez použití drahých laminátových dílů;
- prostornější kabina strojvedoucího než u řady 753.6 – dostatek prostoru mezi sedadlem strojvedoucího a zadní stěnou kabiny.

1.4.1 Nápravové zatížení

Jedním z nejdůležitějších požadavků, od kterého se odvíjí prakticky celá koncepce lokomotivy, je určení maximálního nápravového zatížení. Má-li se jednat o náhradu současných lokomotiv řad 749, 751, 750, 753.7, 753.6 a dalších, je nezbytné se zaměřit na to, na jakých tratích jsou v současnosti nejvíce provozovány. Jak bylo popsáno v úvodní kapitole 1.2, jsou to v nákladní dopravě zejména oblasti v okolí Mladé Boleslavi, Kladna, Domažlic, Týniště nad Orlicí, Frýdku-Místku, dále Jesenicko, Liberecko, příp. některé šumavské tratě. Při pohledu na mapu železniční sítě SŽDC je zřejmé, že většina tratí ve vyjmenovaných oblastech se nachází v traťové třídě zatížení nejvýše C4 (20 t na nápravu/8 t na běžný metr délky), spíše však C3 (20/7,2 t) [3]. Několik příkladů těchto tratí je uvedeno v tab. 1. Zatížení 22,5 t na nápravu (třída D) dnes umožňují až na několik výjimek pouze elektrizované tratě a tranzitní koridory. Navrhovat tedy motorovou lokomotivu s celkovou hmotností nad 80 tun se z tohoto pohledu jeví jako nelogické, neboť by nemohla být provozována téměř na žádné neelektrizované trati v České republice.

Tab. 1: příklady traťových tříd zatížení na několika neelektrizovaných tratích s nákladní dopravou. [3]

| Číslo trati | Trať | Třída zatížení |
|-------------|-----------------------------------|----------------|
| 021 | Týniště n. Orlicí – Častolovice | C3 |
| 022 | Častolovice – Solnice | C2 |
| 030 | Turnov – Liberec | C3 |
| 032 | Jaroměř – Trutnov | C2 |
| 071 | Nymburk – Mladá Boleslav | C3 |
| 070 | Mladá Boleslav – Turnov | C2/C3 |
| 070 | Všetaty – Neratovice | C4 |
| 093 | Kralupy n. Vlt. – Kladno | C3 |
| 180 | Plzeň – Domažlice – Furth im Wald | C3 |
| 238 | Havlíčkův Brod – Ždírec n. D. | D4 |
| 310 | Olomouc – Krnov | C3 |

Jako vhodné řešení se tedy jeví novou lokomotivu koncipovat pro traťovou třídu C3, tzn. nejvyšší hmotnost 80 tun a hmotnost na metr délky max. 7,2 t (při hm. 80 t tedy minimální délka 11,1 m, což není nikterak omezující). Při hmotnostech spalovacích motorů o výkonu řádově 2 MW cca 9 tun však může být velmi obtížné dané zatížení dodržet, což bude řešeno v následujících kapitolách.

Výše uvedený seznam požadavků na novou lokomotivu je tedy nutné rozšířit o důležitý bod:

- nápravové zatížení max. 20 tun, tzn. **nejvyšší hmotnost lokomotivy 80 tun.**

2 REŠERŠE SOUČASNÉ PRODUKCE MOTOROVÝCH TRAŤOVÝCH LOKOMOTIV

Pro stanovení koncepce nové lokomotivy je vhodné nejprve provést analýzu současného trhu s podobnými stroji, neboť nemá příliš význam vyvíjet stejný produkt, který již nabízí jiní výrobci. Zvláště na trhu traťových motorových lokomotiv skříňové konstrukce existuje více typů od několika výrobců, které se od sebe příliš neliší, a rozšiřovat tedy nabídku o další podobný exemplář by nebylo příliš logické. Trh s těmito stroji není příliš rozsáhlý, což obecně odpovídá poměrně nízké poptávce po traťových motorových lokomotivách.

V následující části budou některé koncepčně odpovídající lokomotivy zahraničních výrobců podrobněji popsány, nikoliv však z hlediska jejich „životopisu“, ale s důrazem na uspořádání strojovny, výkon, hmotnost, vnější rozměry, provedení skříně apod.

2.1 Vectron DE, výrobce Siemens Mobility

Platforma Vectron zahrnuje několik verzí modulárních elektrických lokomotiv včetně jedné motorové, která navazuje na úspěšný předchozí typ Siemens Eurorunner (řada ER20), známý spíše pod obchodním označením ÖBB „Hercules“ (řada 2016). Dieselová verze Vectronu je vybavena spalovacím motorem MTU typu 16V 4000 R84 o výkonu 2400 kW, splňujícím emisní limity Stage IIIB. Skříň lokomotivy vychází z elektrických verzí, je však přibližně o jeden metr delší. Dále má navíc v hladkých bočnicích otvory pro sání chladicího vzduchu, a to konkrétně na každé straně u bloku chlazení SM (viz obr. 1) a na jedné straně u bloku elektrické výzbroje. Bočnice u SM je celistvá. Nutno podotknout, že z hlediska unifikace s elektrickými verzemi téže platformy je u Vectronu DE shodná spíše jen mechanická část, tzn. pojezd, hlavní rám, skříň a crashové kabiny. Uspořádání strojovny vychází spíše z předchozího typu EuroRunner. [4]

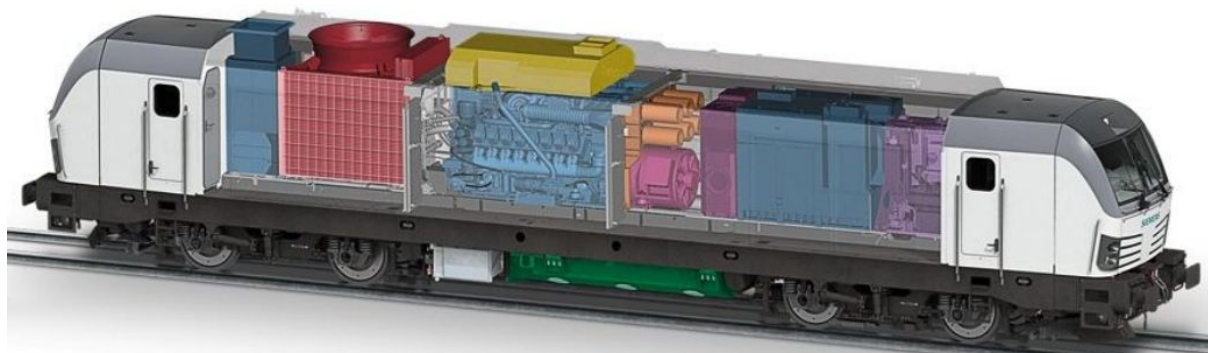


Obr. 1: lokomotiva Vectron DE řady 247.902 na veletrhu Czech Raildays 2015 v Ostravě.

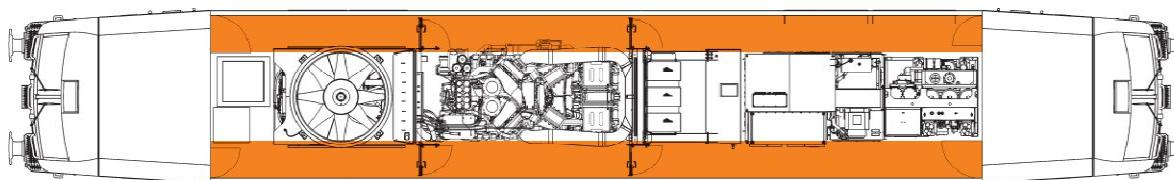
Uspořádání strojovny je zřejmé z obr. 2. Půdorysně je rozdělena na tři sekce, vzájemně oddělené příčkami. Zleva:

- 1) EDB a blok chlazení,
- 2) spalovací motor s emisním modulem a tlumičem výfuku,
- 3) sekce elektrické a pneumatické výzbroje.

Oranžovou barvou jsou znázorněny filtry sání SM, které jsou vyvedeny do elektrické sekce nad trakční alternátor. Blok vzduchotechniky včetně kompresoru je umístěn za kabinou (na obr. vpravo). Komponenty ve strojovně jsou umístěny v podélné ose vozidla a po stranách jsou situovány dvě průchozí uličky, viz obr. 3. Pod hlavním rámem je uložena palivová nádrž o objemu 4000 litrů a bateriová skříň. Shrnutí dalších parametrů je uvedeno v tab. 2.



Obr. 2: uspořádání strojovny lokomotivy Vectron DE [4].



Obr. 3: půdorys uspořádání strojovny lokomotivy Vectron DE s vyznačenými uličkami [5].

Tab. 2: parametry lokomotivy Vectron DE [4], [6].

| | |
|---------------------------|---------------|
| Výkon SM | 2400 kW |
| Maximální rychlost | 160 km/h |
| Rozjezdová tažná síla | 275 kN |
| Hmotnost v prázdném stavu | 83 t |
| Hmotnost na nápravu | 20,75 t |
| Délka přes nárazníky | 19975 mm |
| Maximální šířka | 3020 mm |
| Vzdálenost otočných čepů | 9500 mm |
| Objem palivové nádrže | 4000 l |
| Emisní limity | EU Stage IIIB |

2.2 TRAXX DE, výrobce Bombardier Transportation

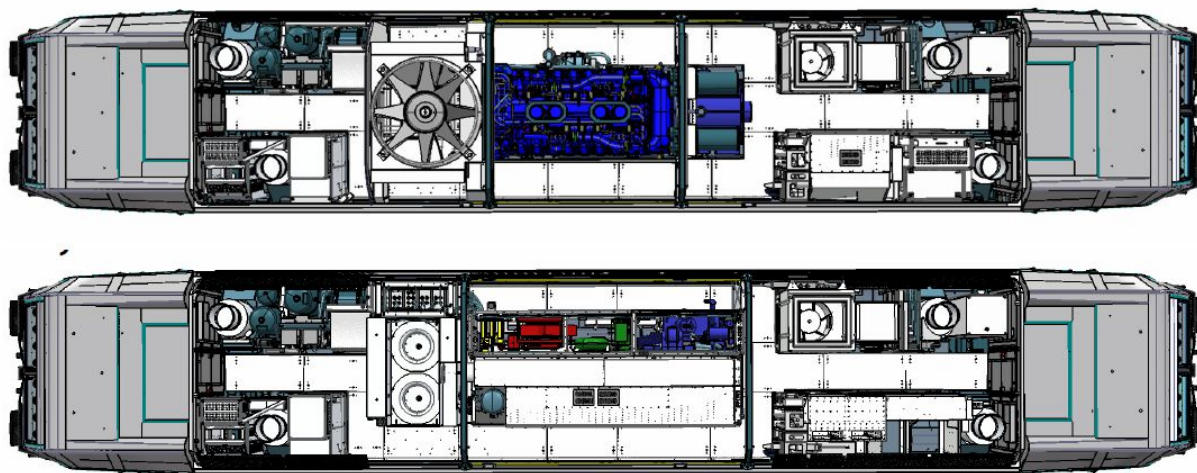
Obdobným případem, jako prvně popisovaný Vectron, je lokomotivní platforma TRAXX výrobce Bombardier Transportation. Rovněž zahrnuje několik elektrických verzí a k tomu dvě motorové, z nichž jedna je vybavena výkonným spalovacím motorem MTU o výkonu 2200 nebo 2400 kW (verze DE) a druhá čtyřmi menšími SM Caterpillar C18 o celkovém výkonu 2256 kW (verze DE ME, kde označení ME znamená Multi Engine, volně přeloženo jako „více motorů“). Ačkoliv je druhá jmenovaná lokomotiva velmi zajímavá, hledanému konceptu odpovídá verze TRAXX DE, proto další informace budou věnovány pouze této verzi. [7], [8]



Obr. 4: lokomotiva TRAXX DE řady 285.001 dopravce HVLE dne 2. 7. 2009 na nákladním nádraží Blankenburg (Německo).

Dieselektrická lokomotiva TRAXX DE je stejně jako elektrické varianty nabízena ve dvou verzích – osobní pro rychlost 160 km/h (P160 DE) a nákladní pro 140 km/h (F140 DE). Dále jsou na výběr dvě výkonové varianty – s motorem MTU 16V 4000 R41L o výkonu 2200 kW nebo MTU 16V 4000 R43 s výkonem 2400 kW, která nabízí vyšší rozjezdovou tažnou sílu (udáváno 300 kN oproti 270 kN u slabší verze). Důležité však je, že zmiňované spalovací motory plní emisní limity pouze Stage IIIA, ale pro nově vyrobené motory po 1. 1. 2012 již platí přísnější normy Stage IIIB. [9] Jako alternativa je výrobcem Bombardier nabízena výše zmiňovaná čtyřmotorová verze DE ME. [7]

Na obr. 5 je názorně vidět modularita verzí platformy TRAXX. Kromě střední části strojovny je uspořádání elektrické a motorové verze téměř shodné, včetně typicky zakřivené uličky. Shodně umístěné jsou např. ventilátory trakčních motorů, blok vzduchotechniky, EDB, skříně vlakových zabezpečovačů a další. Ve střední části je umístěn buď motorgenerátor s přílehlým chladičem a pod rámem mezi podvozky palivová nádrž ve verzi DE, nebo blok trakčních měničů a výkonových prvků včetně chladičí věže a pod rámem trakční transformátor ve verzi MS. Pro zajištění nízké hlučnosti na stanovišti strojvedoucího jsou ve strojovně motorové verze umístěny tři příčky, jedna mezi alternátorem a SM a dvě po obou stranách chladiče SM. Některé další parametry jsou uvedeny v tab. 3.



Obr. 5: Porovnání rozvržení strojovny motorové verze TRAXX DE (nahore) a TRAXX MS (dole) [10].

Tab. 3: parametry lokomotivy TRAXX DE [7].

| | |
|---------------------------|---------------|
| Výkon SM | 2200/2400 kW |
| Maximální rychlost | 160 km/h |
| Rozjezdová tažná síla | 270/300 kN |
| Hmotnost v prázdném stavu | 84 t |
| Hmotnost na nápravu | 21 t |
| Délka přes nárazníky | 18900 mm |
| Maximální šířka | 2977 mm |
| Vzdálenost otočných čepů | 10440 mm |
| Objem palivové nádrže | 4000 l |
| Emisní limity | EU Stage IIIA |

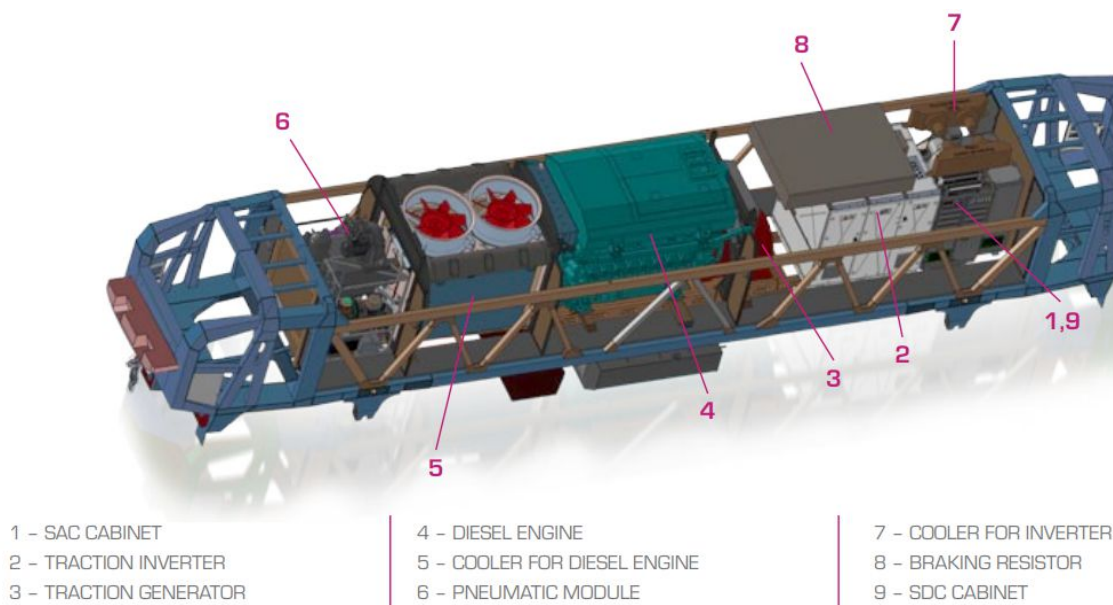
2.3 Gama 111Db, výrobce PESA Bydgoszcz

Velmi podobný produkt motorové verzi lokomotivy Vectron nabízí polský výrobce PESA pod označením 111Db, patřící do platformy nazvané Gama. Motorová lokomotiva splňuje současné normy TSI, je vybavena spalovacím motorem MTU typu 16V 4000 R84 o výkonu 2400 kW splňujícím emisní limity Stage IIIB. Přenos výkonu je střídavě-střídavý. Vždy dva trakční motory jednoho podvozku jsou napájeny z jednoho trakčního střídače [11]. Některé další parametry jsou uvedeny v tab. 4.



Obr. 6: PESA Gama 111Db [12].

Strojovna je rozdělena třemi příčkami na čtyři sekce se dvěma bočními průchozími uličkami. Zleva na obr. 7 se nachází blok vzduchotechniky (označen číslem 6), chladič SM (5), motorgenerátor MTU (4), elektrický blok včetně trakčních střídačů (2) a odporníku EDB (8). Na obrázku lze rovněž vidět příhradovou konstrukci bočnic, na níž jsou umístěny jednotlivé krycí panely. Obdobně byly řešeny např. lokomotivy EuroRunner výrobce Siemens.



Obr. 7: Uspořádání strojovny lokomotivy Gama 111Db [13].

Tab. 4: parametry lokomotivy Gama 111Db [11].

| | |
|---------------------------|-------------------|
| Výkon SM | 2400 kW |
| Maximální rychlost | 140 nebo 160 km/h |
| Rozjezdová tažná síla | 320 kN |
| Hmotnost v prázdném stavu | 84 t |
| Hmotnost na nápravu | 21 t |
| Délka přes nárazníky | 19800 mm |
| Maximální šířka | 3000 mm |
| Vzdálenost otočných čepů | 10700 mm |
| Objem palivové nádrže | ? |
| Emisní limity | EU Stage IIIB |

2.4 UKLight, výrobce Vossloh/Stadler Rail

Pestrou historií i aktuální produkcí motorových a duálních lokomotiv disponuje výrobce Stadler Rail ve svém španělském závodě Valencia, který Stadler v roce 2015 odkoupil od společnosti Vossloh Rail Vehicles, jenž se rovněž zabývala a stále zabývá výrobou motorových lokomotiv, dnes však již výhradně kapotových. [14]



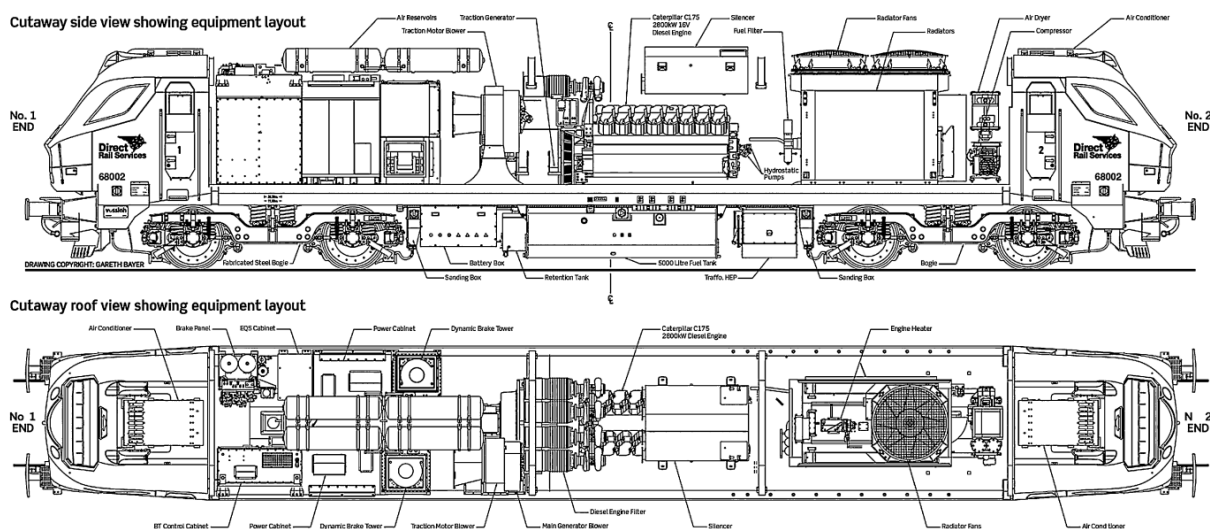
Obr. 8: Lokomotiva Stadler UKLight 68002 v propagačním materiálu firmy Stadler [15].

Z produkce Stadler Rail je pro tuto práci významná platforma lokomotiv s názvem EUROLight a z ní vycházející verze pro britský trh UKLight, viz obr. 8. Hlavním smyslem těchto lokomotiv bylo nabídnout výkonnou traťovou dieselelektrickou lokomotivu s nízkým nápravovým zatížením do 20 tun pro nákladní dopravu na vedlejších evropských tratích.

V nabídce byly dvě výkonové verze, slabší se spalovacím motorem CAT C175 12V o výkonu 2,3 MW, nebo silnější C175 16V o výkonu 2,8 MW. Od toho se odvíjí hmotnost lokomotiv – 75,5 nebo 77,5 t (s 2/3 provozních hmot). Trakční výzbroj pochází od firmy ABB. Příliš velký obchodní úspěch však verze EUROLight nezaznamenala a celkově byly vyrobeny pouze dva kusy. [16]

Výrazně úspěšnější je odvozená verze UKLight (class 68) pro britský trh. Celkově vychází z výše popisované verze EUROLight, s několika změnami. Kromě britského obrysu pro vozidla je to předně vyšší nápravové zatížení 21,4 t – celková hmotnost lokomotivy je tedy 85 t. Použit je opět SM CAT C175 o výkonu 2,8 MW plnicí emisní limity EU Stage IIIA. Maximální rychlost je 160 km/h. [17]

Uspořádání strojovny lze vidět na obr. 9. Strojovna je půdorysně rozdělena dvěma příčkami na 3 části (zleva): sekce elektrické výzbroje, motorgenerátor, chladič SM a kompresor. Zatímco ulička v elektrické sekci je středová, ve zbytku strojovny jsou uličky podél bočnic. Zcela průchozí je však pouze jedna (na obr. 9 v půdorysu v horní části). Sání spalovacího motoru je opět vyvedeno skrze příčku do elektrické sekce, jako je to běžné u všech výše popsaných lokomotiv. V elektrické sekci jsou umístěny dvě věže chlazení EDB, centrální chlazení trakčních motorů, trakční střídače, či hlavní vzduchovjemy (4 x 200 l). Kompresor včetně sušičky vzduchu je umístěn mezi chladičem SM a stanovištěm strojvedoucího (na obrázku vpravo). Pod hlavním rámem mezi podvozky je zavěšena palivová nádrž, skříň baterií a transformátor vlakového topení.



Obr. 9: typový výkres uspořádání strojovny lokomotivy Stadler UKLight [19].

Bočnice skříňě jsou tvořeny příhradovou konstrukcí s krycími plechy. Otvory pro sání chladičového vzduchu se nachází po obou stranách u chladiče SM a dále v místech EDB a u příčky mezi SM a elektrickou sekci v místě sání vzduchu SM. Jinak jsou bočnice hladké.

Tab. 5: parametry lokomotivy Stadler UKLight [17].

| | |
|---------------------------|----------------|
| Výkon SM | 2800 kW |
| Maximální rychlost | 160 (200) km/h |
| Rozjezdová tažná síla | 317 kN |
| Hmotnost v prázdném stavu | 85 t |
| Hmotnost na nápravu | 21,4 t |
| Délka přes nárazníky | 20500 mm |
| Maximální šířka | 2690 mm |
| Vzdálenost otočných čepů | 11830 mm |
| Objem palivové nádrže | 5000 l |
| Emisní limity | EU Stage IIIA |

2.5 Porovnání uvedených lokomotiv

Pro vytvoření představy o koncepčním uspořádání traťových čtyřnápravových motorových lokomotiv výše uvedené čtyři produkty od různých výrobců jistě postačí. Je zřejmé, že u tohoto typu lokomotiv „není příliš co vymýšlet“ a uvedení zástupci se od sebe nikterak zásadně neliší. Podívejme se nejprve přehledně na parametry uvedených lokomotiv, viz tab. 6.

Tab. 6: porovnání parametrů uvedených lokomotiv.

| Typ | Vectron DE | TRAXX DE | Gama 111Db | UKLight |
|-------------------------------|------------|------------|------------|--------------|
| Výrobce | Siemens | Bombardier | PESA | Stadler Rail |
| Výkon SM [kW] | 2400 | 2200/2400 | 2400 | 2800 |
| Maximální rychlost [km/h] | 160 | 160 | 140/160 | 160 (200) |
| Rozjezdová tažná síla [kN] | 275 | 270/300 | 320 | 317 |
| Hmot. v prázdném stavu [t] | 83 | 84 | 84 | 85 |
| Hmotnost na nápravu [t] | 20,75 | 21 | 21 | 21,4 |
| Délka přes nárazníky [mm] | 19975 | 18900 | 19800 | 20500 |
| Maximální šířka [mm] | 3020 | 2977 | 3000 | 2690 |
| Vzdálenost otočných čepů [mm] | 9500 | 10440 | 10700 | 11830 |
| Objem palivové nádrže [l] | 4000 | 4000 | ? | 5000 |
| Emisní limity | Stage IIIB | Stage IIIA | Stage IIIB | Stage IIIA |

Při pohledu na parametry 4 popisovaných lokomotiv lze vytvořit model traťové motorové lokomotivy výkonové kategorie cca 2 MW:

- výkon SM 2200 až 2800 kW;
- maximální rychlost 140 až 160 km/h;
- hmotnost v prázdném stavu 83 až 85 t;
- hmotnost na nápravu 20,75 až 21,4 t;
- délka přes nárazníky 18 900 až 20 500 mm;
- maximální šířka 2 690 až 3 020 mm;
- vzdálenost otočných čepů 9 500 až 11 830 mm;
- palivová nádrž o objemu 4 až 5 tisíc litrů;

Z těchto parametrů lze následně vycházet při stanovení koncepce nové lokomotivy. V dané výkonové kategorii existuje prakticky pouze jediný spalovací motor, který lze použít pro kolejová vozidla při splnění emisních limitů EU Stage IIIB, a to MTU 4000 16V, který je použit v lokomotivách Vectron DE i Gama 111Db. TRAXX DE využívá prakticky shodný agregát, ovšem ve verzi pro plnění starších limitů IIIA.

Shodu mezi porovnávanými lokomotivami lze nalézt v půdorysném rozvržení strojovny, které se liší zpravidla pouze v uspořádání elektrické sekce. Ta je řešena buď s jednou centrální uličkou, která se obvykle před trakčním alternátorem rozdělí na dvě boční okolo SM a jeho chladiče, nebo jsou dvě boční uličky po celé délce strojovny a veškeré komponenty jsou umístěny v podélné ose vozidla (Vectron DE, Gama 111Db). Pouze motorová verze lokomotivy TRAXX v tomto směru vybočuje, což je dáno maximální mírou unifikace s elektrickými verzemi téže platformy.

U všech zmiňovaných lokomotiv je naprosto shodně řešeno též sání spalovacího motoru, jehož filtry jsou vyvedeny do prostoru elektrické výzbroje, oddělené od SM příčkou. Další příčka se nachází vždy mezi SM a jeho chladičem. Spalovací motor je tak ze všech stran uzavřen a izolován. Ani v bočnicích se již nenachází žádné otvory. Proto musí být sání motoru vyvedeno do jiné sekce, která již disponuje dostatečným přísunem čerstvého vzduchu z vnějšku, prostřednictvím průduchů např. v bočnicích.

Velmi důležitým závěrem této rešerše je však zjištění, že žádná z uvedených lokomotiv neumožňuje provozování v traťové třídě zatížení C. Při použití výkonného SM MTU 4000 16V očividně nelze snížit hmotnost lokomotiv pod 80 tun, což by mohlo představovat konkurenční výhodu navrhovaného typu. Na trhu totiž prakticky neexistuje nová skříňová traťová lokomotiva, která by mohla být používána na drtivé většině českých neelektrizovaných tratí. To může být i jedním z důvodů pro nulové rozšíření výše popsaných typů lokomotiv v ČR.

3 NÁVRH USPOŘÁDÁNÍ STROJOVNY

Tato kapitola se podrobněji zabývá jednotlivými celky nové lokomotivy s vyústěním v návrh rozmístění komponentů na hlavním rámu a pod ním, včetně hmotností rozvahy. Výsledné uspořádání následně poslouží jako podklad pro návrh hlavního rámu a pro definování jeho zatížení od uvažovaných prvků.

Pro přehlednost je tato kapitola rozčleněna na 3 části, z nichž první se zabývá možnostmi uspořádání stroje s ohledem na průchozí uličku a vzájemné porovnání možných variant.

Druhá část se věnuje základnímu popisu prvků trakční výzbroje a pomocných pohonů ve stroje, a to z hlediska jejich vnějších rozměrů a očekávané hmotnosti. Je třeba zdůraznit, že cílem není detailní popis všech celků a principů jejich činnosti, nýbrž objasnění toho, jaký prostor ve stroje budou tyto komponenty vyžadovat a s jakou hmotností je třeba počítat v hmotnostní rozvaze.

Závěrečná část této kapitoly v návaznosti na vybranou variantu umístění uličky a prostorové nároky jednotlivých komponentů představuje konečný návrh uspořádání stroje, který je důležitým podkladem pro návrh hlavního rámu.

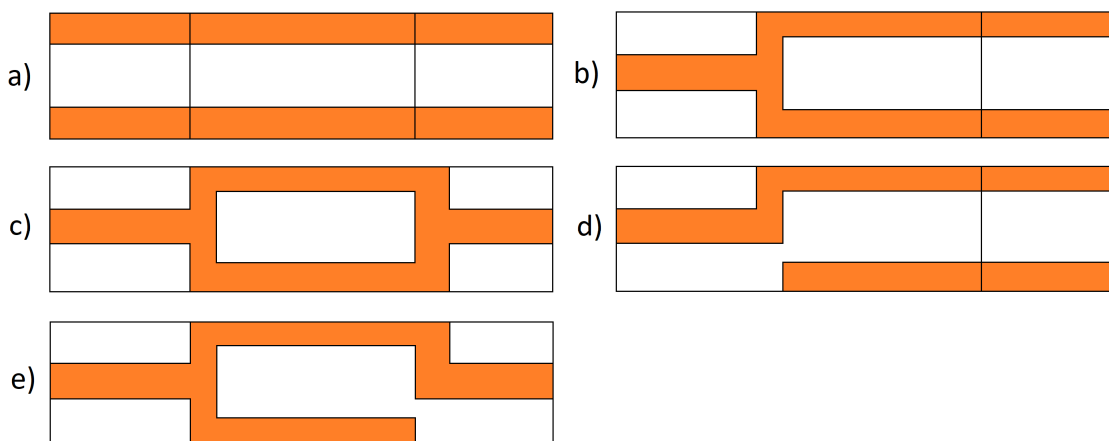
3.1 Uspořádání stroje

Výše uvedená rešerše potvrzuje vhodnost rozdělení stroje skříňové lokomotivy na několik sekcí, vzájemně oddělených příčkami. Jedná se zpravidla o tři až čtyři sekce – prostor spalovacího motoru, chlazení SM, a sekce elektrické, příp. pneumatické výzbroje. Vzájemné oddělení sekcí je výhodné zejména z hlediska izolování nejvýznamnějšího zdroje nežádoucího hluku a rovněž vysoké teploty – spalovacího motoru – od ostatních prostor.

3.1.1 Varianty průchozí uličky

Více možností existuje v oblasti uspořádání průchozí uličky ve stroje, která zcela zásadně ovlivňuje rozmístění komponentů trakční výzbroje a pomocných pohonů. U moderních elektrických lokomotiv se dnes setkáváme nejčastěji s jednou centrální uličkou v podélné ose lokomotivy. To je však u motorových lokomotiv s jedním rozměrným motorgenerátorem nemožné, neboť je z důvodu značné hmotnosti umístěn obvykle uprostřed stroje a ulička ho musí obcházet podél bočnic. V centrální sekci stroje je tedy uspořádání uličky jednoznačně dáno polohou motorgenerátoru. Ve zbývajících sekcích, tj. chladiče SM a elektrické, příp. pneumatické výzbroje již existuje více možností, z nichž ty nejrozšířenější jsou znázorněny na obr. 10 a popsány v následujících odstavcích.

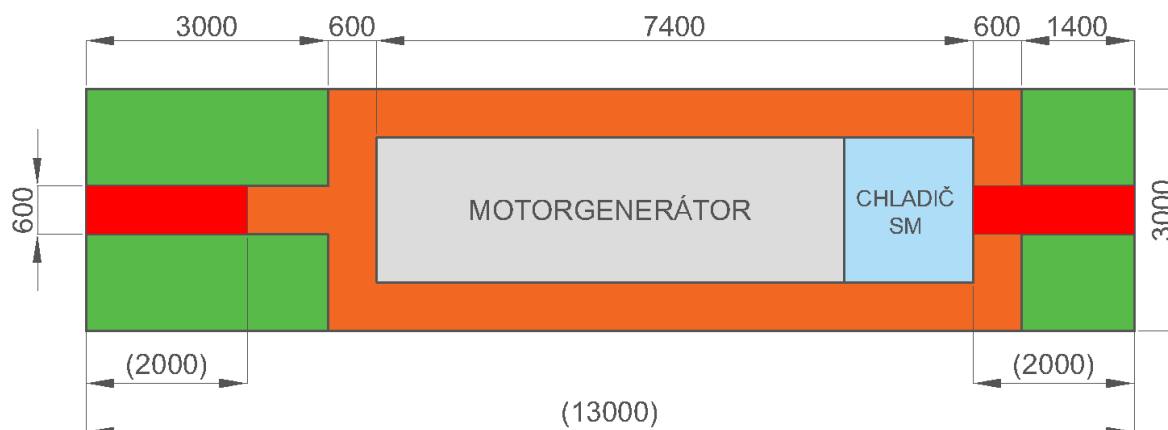
- a) Dvě boční zcela průchozí uličky – uspořádání známé z lokomotiv Siemens Vectron DE a Pesa Gama 111Db. Veškeré komponenty jsou umístěny v podélné ose vozidla.
- b) Dvě boční průchozí uličky obcházející chladič a motorgenerátor, které se v elektrické sekci, tj. u čela alternátoru, sbíhají v jednu centrální uličku.
- c) Jedna centrální ulička, která se okolo motorgenerátoru a chladiče rozděluje na dvě boční zcela průchozí uličky.
- d) Varianta použitá u lokomotiv Stadler UKLight vycházející z možnosti b), ovšem s tím rozdílem, že jedna z bočních uliček není zcela průchozí a slouží pouze k přístupu k motorgenerátoru a chladiči. V místě, kde by se tato neprůchozí „servisní“ ulička napojovala ke středové, je umístěn centrální ventilátor chlazení trakčních motorů.
- e) Uspořádání lokomotivy TRAXX DE – centrální ulička, která se okolo motorgenerátoru a chladiče rozděluje na 2 boční, z nichž jedna slouží pouze pro servisní přístup a není zcela průchozí.



Obr. 10: Možnosti umístění uličky ve strojovně.

3.1.2 Hodnocení z hlediska max. plochy pro komponenty strojovny

Pro rozmístění komponentů ve strojovně je rozhodující, jaká podlahová plocha bude zabráná uličkami. Pro porovnání jednotlivých variant byl vytvořen modelový prostor strojovny s následujícími rozměry: délka strojovny 13 m, šířka 3 m, délka motorgenerátoru a chladičového bloku 7,4 m a šířka všech uliček 0,5 až 0,6 m, viz obr. 11. Zároveň je třeba respektovat nařízení daná legislativou, z nichž pro umístění uliček ve strojovně se jedná zejména o dodržení bezpečného prostoru pro únik strojvedoucího do strojovny při hrozící nehodě. Norma UIC 651 mimo jiné definuje parametry únikové cesty – měla by být na délku minimálně 2 m bez překážek a nebezpečí, o šířce min. 0,5 m a výšce 1,8 m (na obr. 11 znázorněno červenou barvou) [18]. Tento požadavek tedy bude v dalších úvahách rovněž zohledněn. Plocha zabraná uličkami a procentuální podíl z celkové podlahové plochy strojovny (39 m²) je pro jednotlivé varianty uveden v tab. 7.



Obr. 11: Uvažované rozměry strojovny pro porovnání jednotlivých variant uliček.

Tab. 7: Plocha pro komponenty strojovny dle jednotlivých variant.

| Varianta | Plocha uličky [m ²] | Podíl z celkové podlahové plochy [%] | Pořadí |
|----------|---------------------------------|--------------------------------------|--------|
| a) | 15,6 | 40,0 | 5. |
| b) | 14,9 | 38,2 | 4. |
| c) | 14,7 | 37,7 | 3. |
| d) | 14,2 | 36,4 | 1. |
| e) | 14,4 | 36,9 | 2. |

Pro tento modelový případ je zřejmé, že nejméně úsporná je varianta a), u níž uličky zabírají až 40 % podlahové plochy strojovny. Jako nejvhodnější se naopak při daných rozměrech jeví varianta d), zabírající 36,4 % podlahové plochy strojovny. Pořadí jednotlivých variant od nejvhodnější (1.) po nejméně vhodnou (5.) je uvedeno v posledním sloupci tab. 7. Je třeba doplnit, že při odlišných rozměrových parametrech strojovny se výsledky mohou lišit. Zvolené parametry však přibližně odpovídají obvyklému uspořádání u motorových lokomotiv této výkonové kategorie.

3.1.3 Hodnocení z hlediska shodnosti stěn mezi strojovnou a kabinami

Druhým kritériem, vyplývajícím ze zadání této práce, je možnost použití shodných kabin strojvedoucího. Pokud jsou kabiny montovány jako samostatný celek, který se následně umísťuje na hlavní rám, je toto kritérium opodstatněné z hlediska možnosti mít jednotnou příčku mezi kabinou a strojovnou pro přední i zadní stanoviště. Shodnými prvky lze snížit výrobní náklady, náročnost výroby i náklady na zkoušku prohoření příčky.

Z uvažovaných možností toto kritérium splňují varianty a), c), e).

3.1.4 Hodnocení z hlediska počtu vstupních dveří z kabin do strojovny

Kromě shodnosti kabin jsou požadavkem společnosti CZ LOKO pouze jedny dveře z kabin do strojovny, tudíž **jsou vyloučeny varianty a), b), d)**. Důvodem pro toto rozhodnutí je zejména nevhodné využití prostoru na zadních stěnách kabin při použití dvou dveří. Tento prostor lze efektivněji využít pro umístění odkládacích prostor pro potřeby strojvedoucích, dále pro umístění chladničky, mikrovlnné trouby nebo hygienického koutku s umyvadlem. Druhý důvod je finanční – dvoje dveře, vyžadující kvalitní zvukovou izolaci a těsnění, zvyšují výrobní náklady a znamenají zvýšené nároky na přesnost a kvalitu výroby.

3.1.5 Výběr nejvhodnější varianty uspořádání strojovny

Při shrnutí výše popsaných hodnocení není výběr příliš složitý. Nejvhodnější varianta musí splňovat obě zadaná kritéria (shodnost zadních stěn kabin a jedny dveře z kabin do strojovny), čímž se výběr zúžil na varianty **c)** a **e)**. Ostatní tři varianty nesplňují jedno nebo obě tato kritéria. Mezi možnostmi c) a e) lze definitivně rozhodnout dle podlahové plochy, kde **vítězí varianta e)**. Tu lze tedy celkově doporučit jako nejvhodnější variantu uspořádání strojovny při těchto zadaných kritériích.

Tab. 8: Shrnutí hodnocení variant uspořádání strojovny.

| varianta | a) | b) | c) | d) | e) |
|------------------|-----|----|-----|----|-----|
| shodné kabiny | ano | ne | ano | ne | ano |
| jedny dveře | ne | ne | ano | ne | ano |
| plocha strojovny | 5. | 4. | 3. | 1. | 2. |

Pro další části této práce bude tedy uvažována varianta e), tj. uspořádání strojovny po vzoru lokomotiv TRAXX.

3.2 Prostorové nároky prvků trakční výzbroje a pomocných pohonů

V závislosti na rozhodnutí o provedení průchozích uliček ve strojovně lze přistoupit k dalšímu kroku v návrhu uspořádání strojovny nové lokomotivy – k rozmístění komponentů trakční výzbroje a pomocných pohonů. K tomu je nezbytná znalost jejich rozměrových a hmotnostních parametrů. Není-li uvedeno jinak, zdrojem těchto informací je dokumentace dodaná spol. CZ LOKO. Některé neznámé parametry jsou odhadnuty dle podobných prvků, použitých na jiných lokomotivách tohoto výrobce.

3.2.1 Motorgenerátor

Jak postupně vyplynulo z předchozích kapitol, nová lokomotiva bude navrhována pro nápravové zatížení nejvýše 20 tun, tzn. maximální hmotnost 80 tun. Je zřejmé, že při použití výkonného SM MTU 16V 4000 (udávaná hmotnost 9050 kg + 1300 kg filtr pevných částic [21]) nebude pravděpodobně reálné tento limit dodržet a je nutné se vydat cestou použití slabšího motorgenerátoru. Při nutnosti plnění emisních limitů Stage IIIB jsou na výběr dvě možnosti:

- MTU 12V 4000 R84 o výkonu 1 800 kW s hmotností bez provozních náplní cca 7,7 t. Pro plnění emisních limitů Stage IIIB je doplněn přídatným filtrem pevných částic (udávaná hmotnost 850 kg) [21].
- Caterpillar 3512E o výkonu cca 1 800 kW s hmotností bez provozních náplní cca 7,2 t. Jedná se v zásadě o obdobný SM, který je instalován do modernizovaných lokomotiv 753.6 a dalších, se zvýšeným výkonem a s přídatným emisním modulem pro plnění limitů Stage IIIB (hmotnost modulu není známa) [22].

Oba motory jsou rozměrově i hmotnostně obdobné, což je výhodné z hlediska možné zástavby obou motorů dle požadavků zákazníka. Nevýhodou SM CAT je však nutnost používání aditiva AdBlue pro katalytickou redukci výfukových plynů. Z toho plyne požadavek na přídatnou nádrž a pro dopravce nepříjemná povinnost doplňovat kromě motorové nafty též toto aditivum. Spotřeba AdBlue je udávána mezi 3 a 7 % spotřeby paliva [20]. Je tedy třeba počítat s přídatnou nádrží o objemu cca 500 litrů, bude-li palivová nádrž obsahovat 5 000 l nafty, aby bylo možné doplňovat palivo i AdBlue současně.

Ačkoliv nutnost použití aditiva AdBlue nahrává více příklonu k SM výrobce MTU, který tento systém nevyžaduje, je z hlediska vnitřní politiky společnosti CZ LOKO i s ohledem na dlouholeté zkušenosti a servisní zázemí preferováno použití motorů výrobce Caterpillar. V návrhu této koncepce tedy bude dále uvažováno se spalovacím motorem CAT 3512E.

Umístění motorgenerátoru v lokomotivě je dáno prakticky bez možnosti volby, a to s ohledem na značnou hmotnost v porovnání s ostatními komponenty. Sestava spalovacího motoru

s trakčním generátorem musí být umístěna co nejbližší středu lokomotivy, neboť i jen mírné vychýlení v podélném směru (samozřejmě i příčném, ale zde není příliš mnoho prostoru) vede ke značnému ovlivnění polohy těžiště celé lokomotivy. Poloha motorgenerátoru je tedy dána tak, aby se jeho těžiště nacházelo co nejbližší u geometrického středu lokomotivy.

Motorgenerátor vyžaduje na délku prostor cca 5,4 m. Maximální šířka motorgenerátoru je cca 1,7 m. Hmotnost samotného spalovacího motoru v běžné konfiguraci a bez provozních kapalin je udávána cca 7,2 t [22]. Hmotnost alternátoru odpovídajícího výkonu je obtížné přesně získat, neboť veřejně dostupné informace o produktech firmy Siemens Drásov, jejíž alternátory jsou výrobcem CZ LOKO využívány nejčastěji, jsou dosti omezené. Lze se však dočíst, že hmotnost alternátoru o výkonu 2200 kVA z typové řady 1FC2 je 5,5 t a hmotnost verze o výkonu 290 kVA je 1,5 t [23]. Lineární interpolací tedy lze dospět k odhadu, že hmotnost alternátoru o výkonu 1800 kVA bude přibližně 4,7 t. Celková hmotnost sestavy motorgenerátoru včetně pomocného rámu je tedy odhadována na cca 13 t.

3.2.2 Blok chlazení spalovacího motoru

Další prvek, jehož poloha ve strojovně je již předem určena, je blok chlazení spalovacího motoru. Je vhodné, aby propojovací potrubí mezi chladičem a SM bylo co možná nejkratší a nejjednodušší, tudíž se chladicí blok zpravidla umísťuje hned u spalovacího motoru, resp. za oddělovací příčku.

Rozměry chladicího bloku vycházejí z následující úvahy. Spalovací motor CAT 3512 je používán v mírně odlišné verzi s výkonem 1550 kW v modernizovaných lokomotivách řady 774, kde je k jeho chlazení použit nižší blok o rozměrech chladicích článků na jedné straně přibližně 1850 x 1040 mm (délka x výška), tj. přibližně 1,87 m² plochy chladicích článků na každé straně. Tento blok je však koncipován pro použití v kapotové lokomotivě, proto jeho délka převažuje nad výškou. Naopak v modernizovaných lokomotivách 2M62UM s motory MTU o výkonu 2200 kW je plocha chladicích článků na jedné ze dvou stran chladiče přibližně 2,79 m². Lineární interpolací lze nalézt přibližnou hodnotu plochy chladicích článků pro SM o výkonu 1800 kW – cca 2,20 m².

Bude-li uvažována výška chladicí plochy přibližně 1800 mm, lze snadno dopočítat potřebnou délku – cca 1220 mm. Je však třeba zdůraznit, že celý tento výpočet je založen na jednoduché úvaze porovnání výkonu SM a plochy chladicích článků a je pouze orientační. K samotným článkům je poté třeba připočítat určitý prostor pro rám chladicího bloku, proto je pro účely rozvržení strojovny uvažováno s celkovou délkou bloku chlazení SM 1650 mm a výškou přibližně 2350 mm. Konečné rozměry chladicího bloku se však ve skutečnosti mohou lišit v závislosti na přesnějších výpočtech, možnostech výrobce apod. Je však vhodné se v těchto úvahách pohybovat spíše v mírně naddimenzovaných oblastech pro zachování určité rezervy.

3.2.3 Komponenty pneumatické výzbroje

Nedílnou součástí každé lokomotivy je pneumatická brzda a všechny její komponenty – zdroj stlačeného vzduchu, tj. kompresor, zařízení úpravy vzduchu, vzduchojemy, brzdový rozvaděč, brzdíč atd. Dalšími zařízeními, která ke své činnosti využívají stlačený vzduch, jsou např. pískování, houkačky, elektropneumatické stykače, či systém mazání okolků.

Blok pneumatických přístrojů

U současných moderních lokomotiv je obvyklé, že veškerá zařízení ovládající brzdové a další pneumatické systémy jsou soustředěny do jednoho kompaktního bloku, nazývaného zkráceně „pneublok“. Pro navrhovanou lokomotivu je uvažováno s blokem pneumatických přístrojů o rozměrech přibližně 1100 x 800 x 1800 mm (délka x šířka x výška) a hmotností řádově 500 kg.

Kompresor

Dalším samostatným celkem pneumatické výzbroje je kompresor, který bývá nejčastěji umístěn ve strojovně, ale existují i případy, kdy ho lze nalézt např. pod hlavním rámem mezi podvozky a u nízkopodlažních jednotek pak samozřejmě také na střeše. Společnost CZ LOKO nejčastěji využívá kompresory výrobců Mattei a Knorr-Bremse. Nezbytnou součástí je rovněž úprava vzduchu z kompresoru, která spočívá v jeho filtraci, vysušení a odstranění zbytkové koncentrace oleje. Vzhledem k tomu, že dosud nebylo rozhodnuto, který typ kompresoru bude v navrhované lokomotivě použit, bude pro účely této práce uvažováno s typem Mattei JKS-220-E-32, jehož rozměry jsou přibližně 1800 x 760 x 1400 mm (délka x šířka x výška) a hmotnost cca 600 kg. Součástí tohoto celku je rovněž integrovaná sušička vzduchu. Jelikož tento typ kompresoru patří mezi ty prostorově náročnější, nebude problém při případném použití jiného (menšího) typu kompresoru.

Hlavní vzduchojemy

V neposlední řadě je třeba řešit umístění hlavních vzduchojemů, což jsou tlakové nádoby pro uchovávání tlakového vzduchu z kompresoru. Na lokomotivě budou dle zvyklostí CZ LOKO umístěny celkem 2 hlavní vzduchojemy, každý o objemu 500 l. U českých výrobců lokomotiv bylo/je obvyklé umístění hlavních vzduchojemů pod rámem lokomotivy, a to buď za smetadlem překážek, nebo pod střední částí rámu, např. z obou stran palivové nádrže. U moderních lokomotiv se ale čím dál častěji lze setkat s umístěním vzduchojemů do strojovny. Vždy záleží na prostorových možnostech každé lokomotivy. Rozměry uvažovaných vzduchojemů jsou 500 x 3000 mm (průměr x délka). Hmotnost jednoho vzduchojemu je cca 220 kg.

3.2.4 Komponenty elektrické výzbroje

Elektrickou výzbroj dieselelektrické lokomotivy se střídavým přenosem výkonu lze zjednodušeně rozčlenit na trakční komponenty a pomocné pohony. Mezi trakční výzbroj patří alternátor, usměrňovač střídavého proudu, frekvenční střídače a trakční elektromotory. K pomocným pohonům patří zejména třífázové elektromotory pohánějící kompresor, ventilátor chlazení SM, ventilátoru EDB, ventilátory chlazení trakčních motorů (dále jen VCHTM), kompresory klimatizačních jednotek stanovišť strojvedoucího, transformátor vlakového topení a další.

Zvyklostí společnosti CZ LOKO je rozdělení elektrické výzbroje do jednotlivých rozvaděčů označených R1 až R5, jejichž funkce já dále stručně popsána. Předpokládané rozměry a hmotnosti jsou uvedeny v tab. 9.

- R1** Vysokonapěťový rozvaděč. Zahrnuje silové stykače, relé a další zařízení. Pro návrh nové lokomotivy je uvažována jedna skříň pro trakční usměrňovač, střídače a další silové prvky.
- R2** Obsahuje zařízení nízkonapěťové sítě lokomotivy, včetně diagnostického a řídicího systému. Součástí budou též radiostanice a vlakové zabezpečovače (kromě ETCS).
- R3** Rozvaděč sítě pomocných pohonů (dále jen PP). Obsahuje frekvenční střídače pro napájení jednotlivých asynchronních elektromotorů PP. Součástí tohoto rozvaděče je rovněž statický budič trakčního alternátoru. Rozvaděč je napájen ze stejnosměrného meziobvodu lokomotivy.
- R4** Rozvaděč vlakového topení, je-li jím lokomotiva vybavena. Obsahuje mimo jiné stykače a transformátor vlakového topení.
- R5** Rozvaděč příslušenství baterií. Obsahuje zařízení pro nabíjení baterií z externí sítě, dále silové prvky ovládání baterií (odpojovač baterie, jističe) a též zařízení pro elektrický předehřev spalovacího motoru.

Tab. 9: Předpokládané rozměry a hmotnosti rozvaděčů elektrické výzbroje.

| Rozvaděč | Hmotnost [kg] | Délka [mm] | Šířka [mm] | Výška [mm] |
|----------|---------------|------------|------------|------------|
| R1 | 640 | 1250 | 800 | 1800 |
| R2 | 400 | 1400 | 800 | 1800 |
| R3 | 650 | 1000 | 800 | 1800 |
| R4 | 50 | 900 | 650 | 650 |
| R5 | 50 | 900 | 650 | 650 |

Blok elektrodynamické brzdy

Je předpokládáno využití jednoho bloku elektrodynamické brzdy o výkonu 1500 kW, který je používán na modernizovaných lokomotivách EffiLiner 3000. Základní částí EDB jsou odporníky, jejichž nucené chlazení zajišťuje ventilátor poháněný elektromotorem. Vnější rozměry jsou cca 870 x 900 x 1700 mm (délka x šířka x výška) a hmotnost cca 660 kg.

Ventilátory chlazení trakčních motorů

Pro chlazení trakčních motorů budou použity dva ventilátory, vždy po jednom pro každý podvozek. VCHTM se skládá z ventilátoru poháněného třífázovým elektromotorem a vnějšího pláště, který usměrňuje proud vzduchu v požadovaném směru. Rozměry jednoho bloku jsou přibližně 750 x 750 x 700 mm (délka x šířka x výška) a hmotnost cca 150 kg.

ETCS

Jak bylo uvedeno v popisu rozvaděče R2, vlakové zabezpečovače budou součástí skříně tohoto rozvaděče, avšak umístění ETCS je uvažováno v samostatné skříni. Lze totiž předpokládat dodání tohoto prvku jako samostatného celku přímo od dodavatele. Prozatím je pro ETCS počítáno s prostorem 700 x 800 x 1800 mm (délka x šířka x výška) a hmotností 400 kg. Přesné údaje nejsou v této fázi návrhu k dispozici.

Baterie

Palubní síť lokomotivy o napětí 24 V DC je napájena z akumulátorové baterie, jejíž umístění se předpokládá v samostatné skříni pod hlavním rámem lokomotivy po vzoru řady 750.7. Součástí této skříně o rozměrech přibližně 930 x 2900 x 650 mm (délka x šířka x výška) je též rozvaděč R5 a příp. R4. Hmotnost baterie je cca 300 kg, rozvaděčů R4 a R5 po cca 50 kg a samotné skříně cca 300 kg – celkově tedy cca 700 kg.

3.2.5 Palivová nádrž + nádrž na AdBlue

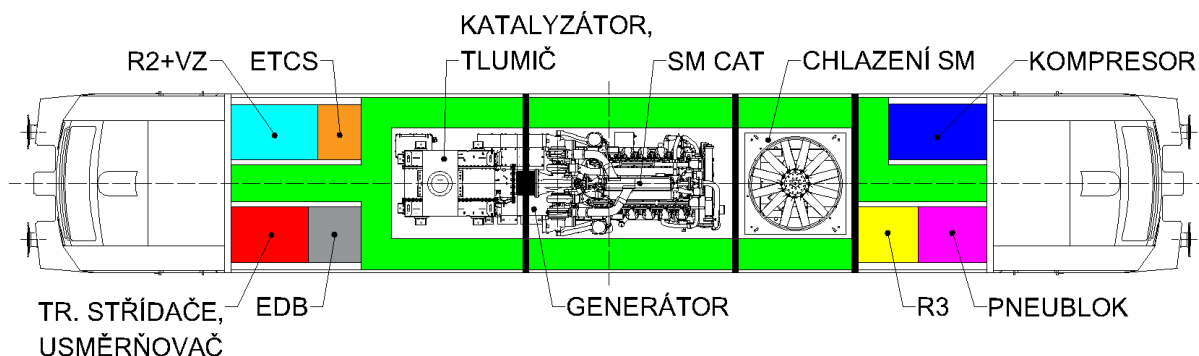
Mezi podvozky bude zavěšena palivová nádrž o objemu cca 5000 l s integrovanou nádrží na AdBlue o objemu cca 500 l. Při hustotě motorové nafty přibližně 880 kg/m^3 [24] a hustotě AdBlue 1090 kg/m^3 [25] činí hmotnost obou kapalin celkově 4945 kg. Hmotnost svařence nádrže o rozměrech přibližně 2800 x 2900 x 850 mm (délka x šířka x výška) je na základě zjednodušeného 3D modelu odhadována na 1000 kg. Celková hmotnost zcela naplněné nádrže tedy činí cca 5945 kg.

3.3 Finální návrh uspořádání strojovny

Na základě konzultací s projektanty spol. CZ LOKO byl vybrán finální návrh možného uspořádání strojovny. V souladu s výše uvedenými poznatky je navrhováno půdorysné rozčlenění plochy strojovny do čtyř vzájemně oddělených sekcí:

1. sekce elektrické výzbroje;
2. spalovací motor;
3. chlazení SM;
4. sekce pneumatické výzbroje s rozvaděčem pomocných pohonů R3.

Jednotlivé sekce jsou odděleny příčkami zejména s ohledem na hlukovou izolaci spalovacího motoru a dále z důvodu oddělení proudění chladicího vzduchu. Navržené řešení respektuje požadavek na bezpečný únik strojvedoucího z kabiny v případě nehodové události a současně zajišťuje bezproblémový přístup ke všem agregátům ve strojovně pro zajištění údržby.



Obr. 12: Navrhované uspořádání strojovny – půdorys.

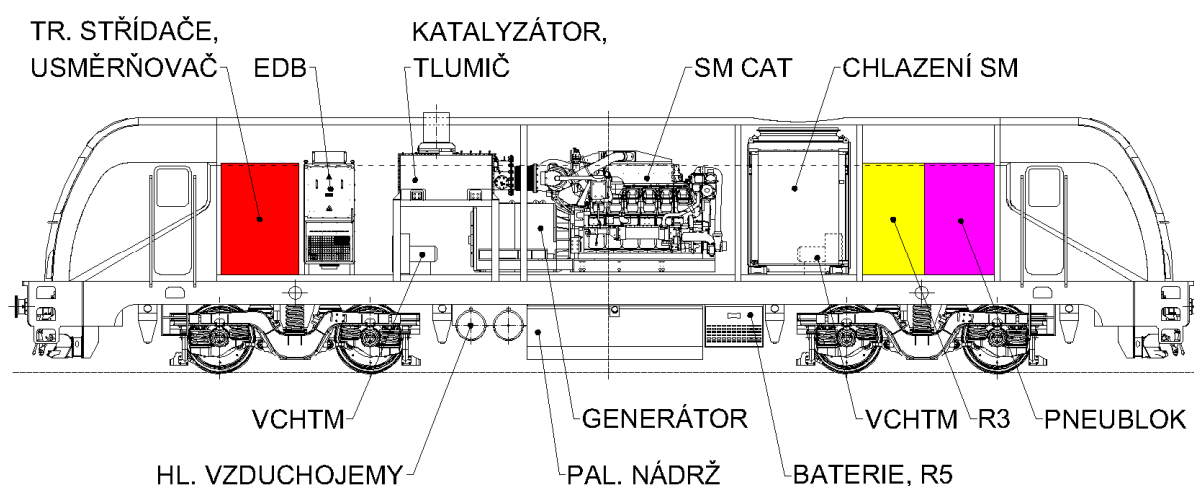
Navrhované uspořádání strojovny je znázorněno na obr. 12. Zelenou barvou je vyznačena ulička, dosahující šířky 500 až 600 mm. Černou barvou jsou zvýrazněny tři příčky oddělující jednotlivé sekce strojovny. Zvláštní komentář si zaslouží skříň s označením R2 + VZ, která by měla integrovat veškerá nízkonapěťová zařízení včetně vlakových zabezpečovačů (kromě ETCS), radiostanice, jističů atd. Naopak veškeré vysokonapěťové výkonové prvky bude obsahovat červeně vyznačená skříň. Konkrétně se jedná o trakční střídače, usměrňovač a další výkonové prvky. Dá se rovněž očekávat, že součástí této skříně bude vlastní chlazení těchto prvků, pravděpodobně v kapalinovém provedení (menší rozměry než u vzduchového chlazení). Hned u této vysokonapěťové části bude umístěn blok elektrodynamické brzdy (šedá barva), a to z důvodu velmi krátkého vedení silové kabeláže z VN skříně.

Součástí této elektrické sekce je ještě část trakčního alternátoru, katalyzátor s tlumičem výfuku, dávkovač AdBlue a ventilátor trakčních motorů 2. podvozku. Tyto prvky jsou však zřetelné spíše z bočního pohledu, viz obr. 13. Rovněž je předpokládáno vyvedení sání vzduchu SM do el. sekce s pravděpodobným umístěním podél bočních stran emisního modulu. Pro zachování přehlednosti však v přiložených ilustracích není sání znázorněno.

Následuje sekce spalovacího motoru, která je z obou stran oddělena příčkami. Ve 3. sekci zleva se nachází blok chlazení spalovacího motoru, v jehož dolní části je předpokládáno umístění ventilátoru chlazení trakčních motorů 1. podvozku.

Poslední sekce zahrnuje veškerou pneumatickou výzbroj kromě hlavních vzduchojemů, tzn. na jedné straně kompresor se sušičkou vzduchu a příslušenstvím, a přes uličku kompaktní blok pneumatických přístrojů. Dále je v té této sekci umístěn elektrický rozvaděč pomocných pohonů R3 (žlutý), což je výhodné z hlediska blízkosti jeho spotřebičů – kompresoru, VCHTM, chlazení SM.

V bočním pohledu na obr. 13 je názorně viditelné uspořádání motorgenerátoru s katalyzátorem. Obvykle je tlumič výfuku umístěn nad spalovacím motorem, avšak dodavatel pro český trh má tento typ motoru připravený v konfiguraci pro kapotovou lokomotivu s požadavkem na co nejmenší výšku. Z toho důvodu je emisní modul umístěn nad trakčním alternátorem. Prostor pod modulem tak lze využít pro umístění ventilátoru chlazení trakčních motorů 1. podvozku. Je však třeba zachovat u čela alternátoru volný prostor pro sání chladicího vzduchu alternátoru.



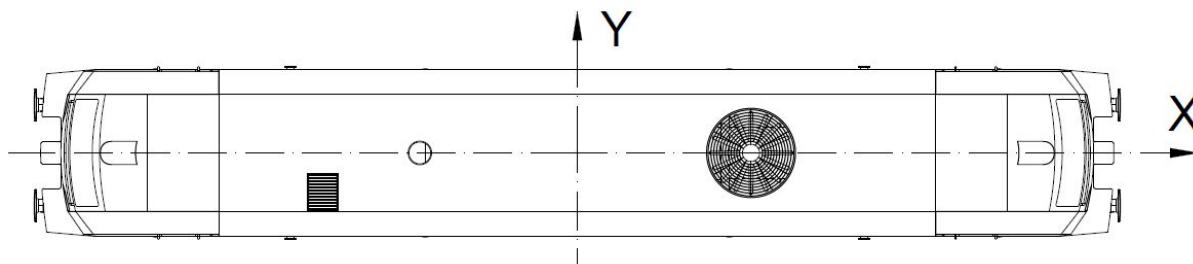
Obr. 13: Navrhované uspořádání strojovny – bokorys.

Z tohoto pohledu lze rovněž vidět naznačené uspořádání komponentů pod hlavním rámem, kde je uvažováno s umístěním hlavních vzduchojemů, baterií, rozvaděče R5, palivové nádrže, nádrže na AdBlue a příp. rozvaděče vlakového topení, bude-li jím lokomotiva disponovat. To by si však pravděpodobně vyžádalo určité zmenšení objemu palivové nádrže.

Ve volném prostoru pod střechou strojovny je předpokládáno umístění tzv. kapes sání/výdechu chladicího vzduchu z nuceného chlazení těchto komponentů. Bude-li sání vzduchu probíhat skrze separátory v bočnici, ohřátý vzduch bude vyfukován šikminou střechy, příp. naopak.

3.3.1 Kontrola polohy těžiště navrhovaného uspořádání strojovny

Úvodem je vhodné objasnit zvolený souřadný systém. Pro popis polohy komponentů a pro následný výpočet těžiště je počátek souřadného systému umístěn v geometrickém středu lokomotivy. Osa X je podélnou osou vozidla a kladný směr je vpravo od počátku souř. systému. Osa Y je příčnou osou vozidla a kladný směr je uvažován nahoru, viz obr. 14. Osa Z není pro tyto účely zapotřebí.



Obr. 14: Zvolený souřadnicový systém vozidla.

Výše popsáný návrh byl vytvořen s ohledem na rovnoměrné rozložení hmotnosti lokomotivy. Kontrolu lze provést základním výpočtem polohy těžiště dle vztahu (1):

$$X_T = \frac{\sum_i (m_i \cdot x_i)}{\sum_i m_i}, \quad Y_T = \frac{\sum_i (m_i \cdot y_i)}{\sum_i m_i}, \quad (1)$$

- kde: m_i [kg] je hmotnost daného prvku;
 x_i [m] je podélná vzdálenost i -tého prvku od příčné osy vozidla;
 y_i [m] je příčná vzdálenost i -tého prvku od podélné osy vozidla;
 X_T [m] je podélná vzdálenost těžiště lokomotivy od příčné osy vozidla;
 Y_T [m] je příčná vzdálenost těžiště lokomotivy od příčné osy vozidla;

Poloha jednotlivých komponentů včetně výsledné polohy těžiště je uvedena v tab. 10 na následující straně. Je třeba doplnit, že za celkovou hmotnost $\sum m_i$, vystupující ve jmenovateli vztahu (1), je dosazena předpokládaná hmotnost lokomotivy bez obou podvozků, tj. $80 - 2 \cdot 13,4 = 53,2$ t. Důvodem je zejména to, že v této hmotnostní rozvaze nejsou uvedeny prvky lokomotivy, u nichž se předpokládá symetrické rozmístění, např. nárazníky, písečníky, kabiny atd. Vysvětlení si zaslouží rovněž odečtení hmotnosti podvozků – poloha těžiště je kontrolována proto, aby se zjistila případná nerovnoměrnost zatížení sekundárního vypružení, tudíž je třeba určit polohu těžiště pouze těch částí, které zatěžují II. vypružení, tedy skříň lokomotivy a veškerého příslušenství neseného hlavním rámem (nádrž,...). Dále je třeba upozornit, že **většina z uvedených hmotností je pouze odhadována** na základě obdobných prvků, použitých u jiných lokomotiv z produkce CZ LOKO. Proto je nutné celkový výpočet polohy těžiště vnímat pouze jako orientační.

Tab. 10: Výpočet polohy těžiště lokomotivy dle navrhovaného uspořádání strojovny.

| komponent | m_i | x_i | y_i | $m_i \cdot x_i$ | $m_i \cdot y_i$ |
|--|-------|-------|-------|-----------------|-----------------|
| | [kg] | [m] | [m] | [kg · m] | [kg · m] |
| motorgenerátor | 13000 | -0,23 | 0,00 | -2990,0 | 0,0 |
| kompresor | 600 | 5,35 | 0,85 | 3210,0 | 510,0 |
| chladicí blok | 1500 | 3,03 | 0,00 | 4545,0 | 0,0 |
| R3 | 650 | 4,55 | -0,85 | 2957,5 | -552,5 |
| pneublok | 500 | 5,60 | -0,85 | 2800,0 | -425,0 |
| ETCS | 400 | -4,38 | 0,85 | -1752,0 | 340,0 |
| R2 | 400 | -5,43 | 0,85 | -2172,0 | 340,0 |
| R1 + tr. střídače + usměrňovač | 640 | -5,53 | -0,85 | -3539,2 | -544,0 |
| EDB | 660 | -4,45 | -0,79 | -2937,0 | -521,4 |
| VCHTM 1 | 150 | 3,48 | 0,00 | 522,0 | 0,0 |
| VCHTM 2 | 150 | -3,08 | -0,38 | -462,0 | -57,0 |
| dávkoč AdBlue | 200 | -3,17 | 0,62 | -634,0 | 124,0 |
| palivová nádrž + nádrž AdBlue | 5945 | 0,10 | 0,00 | 594,5 | 0,0 |
| baterie + R5 | 700 | 2,00 | 0,00 | 1400,0 | 0,0 |
| $\sum(m_i \cdot x_i), \sum(m_i \cdot y_i)$ | | | | 1322,8 | -1295,9 |
| X_T, Y_T [m] | | | | 0,017 | -0,016 |

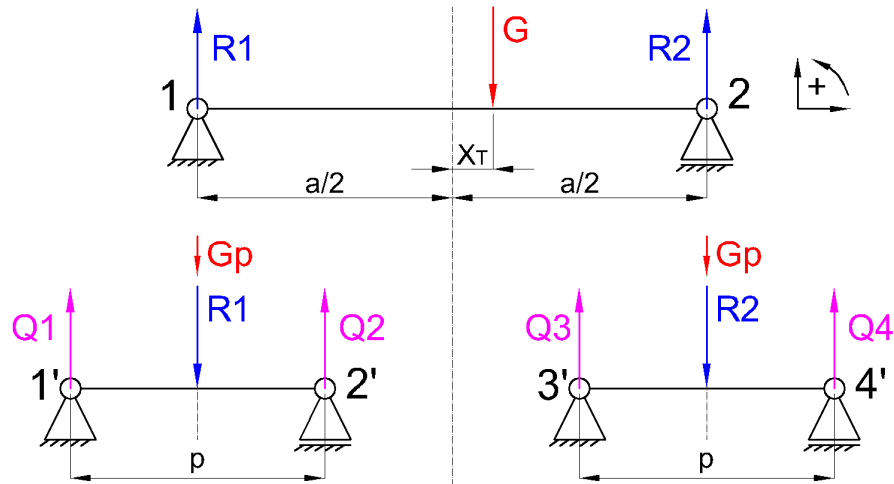
Výsledná poloha těžiště skříňe lokomotivy je tedy $[X_T; Y_T] = [17; -16]$ mm od příčné/podélné osy. Posoudit, zda se jedná o příliš velkou odchylku, či nikoliv, lze na základě jednoduché silové rozvahy. Skříň lokomotivy lze nahradit nosníkem na dvou podporách, které ve skutečnosti představují uložení skříňe na sekundárním vypružení. Délka nosníku bude odpovídat vzdálenosti otočných čepů, tj. $a = 10$ m. U středu nosníku bude umístěna svislá síla, představující tíhu skříňe. Působíště síly bude umístěno v podélném směru od osy nosníku ve vzdálenosti odpovídající podélné výchylce vypočítaného těžiště, viz obr. 15. Pomocí rovnic statické rovnováhy tak lze snadno zjistit, jak se budou lišit reakční síly v obou podporách.

$$\sum_i F_{i_z} = 0; R_1 + R_2 - G = 0 \quad (2)$$

$$\sum_i M_{i_z} = 0; G \cdot \left(\frac{a}{2} - X_T\right) - R_1 \cdot a = 0 \rightarrow R_1 = \frac{G \cdot \left(\frac{a}{2} - X_T\right)}{a} \quad (3)$$

Z rovnice (2) lze určit reakční sílu R_2 :

$$R_2 = G - R_1 = G - G \cdot \frac{\frac{a}{2} - X_T}{a} = G \cdot \left(1 - \frac{\frac{a}{2} - X_T}{a}\right) \quad (4)$$



Obr. 15: Schematické znázornění silové rovnováhy. Podpory 1,2 představují místa umístění skříně na sekundárním vypružení. Podpory 1' až 4' představují jednotlivá dvojkolí.

Pro zadané hodnoty:

- $a = 10 \text{ m}$;
- $p = 2,4 \text{ m}$;
- $G = m_1 \cdot g = 53200 \cdot 9,81 = 521892 \text{ N} \doteq 521,9 \text{ kN}$;
- $G_p = m_2 \cdot g = 13400 \cdot 9,81 = 131454 \text{ N} \doteq 131,5 \text{ kN}$;
- $X_T = 0,017 \text{ m}$;

vychází reakční síly:

$$R_1 = \frac{521,9 \cdot (5 - 0,017)}{10} = 260,1 \text{ kN} \quad (5)$$

$$R_2 = 521,9 - 260,1 = 261,8 \text{ kN} \quad (6)$$

Lze tedy říci, že při výchylce těžiště v podélném směru o 17 mm od příčné osy vozidla dochází k rozdílu zatížení podvozků $|R_1 - R_2| \doteq 1,7 \text{ kN}$.

Při přepočítání na jednotlivá dvojkolí a kolové síly (viz obr. 15), tj. se zohledněním tíhy podvozků G_p , dochází k rozdílu svislých kolových sil mezi koly jednoho a druhého podvozku cca 0,5 kN.

$$Q_1 = Q_2 = \frac{R_1 + G_p}{2} = \frac{260,1 + 131,5}{2} \doteq 195,8 \text{ kN} \quad (7)$$

$$Q_3 = Q_4 = \frac{R_2 + G_p}{2} = \frac{261,8 + 131,5}{2} \doteq 196,7 \text{ kN} \quad (8)$$

$$Q_{11} = Q_{12} = Q_{21} = Q_{22} = \frac{Q_1}{2} = \frac{195,8}{2} \doteq 97,9 \text{ kN} \quad (9)$$

$$Q_{31} = Q_{32} = Q_{41} = Q_{42} = \frac{Q_3}{2} = \frac{196,7}{2} \doteq 98,4 \text{ kN} \quad (10)$$

Dle závazných norem však není hodnocena kolová síla, nýbrž hmotnost na nápravu (podíl celkové hmotnosti vozidla k počtu dvojkolí). Hmotností drážního vozidla se rozumí hmotnost hnacího vozidla ve službě, tj. hmotnost plně vyzbrojeného vozidla. Přepočet na hmotnost na nápravu lze jednoduše provést z již známé hodnoty zatížení dvojkolí Q_1 až Q_4 vydělením tíhovým zrychlením:

$$M_i = \frac{Q_i}{g} \quad (11)$$

Při podélné výchylce těžiště o 17 mm bude hmotnost na nápravu u přetíženého podvozku cca 20,05 t a u odlehčeného podvozku 19,96 t, což představuje rozdíl 90 kg.

Vyhláška 173/1995 však nikterak neřeší rozdíly hmotností na nápravu mezi jednotlivými podvozky, ale pouze v rámci jednoho podvozku. Přípustné tolerance hmot. na nápravy v podvozku jsou $\pm 2\%$ průměrné hmot. na nápravu, což při celkové hmotnosti 80 t, tj. 20 t na nápravu, představuje limitní hodnoty $\langle 19,6; 20,4 \rangle$ t na nápravu. Pravděpodobně je tedy předpokládáno, že rozdíl v zatížení podvozků bude vždy kompenzován nastavením předpětí vypružení změnou osové délky pružin různými podložkami.

Hlavním cílem této části bylo prokázat, že navrhované řešení strojovny je z hlediska rovnoměrného zatížení skříňe optimální a rovněž spíše poukázat na vztah mezi výchylkou těžiště a tím způsobenou změnou zatížení náprav. V praxi bývá výpočet těžiště pouze orientační, neboť při výpočtu nelze nikdy přesně postihnout veškeré skutečnosti. Nerovnoměrnost zatížení tak vzniká do jisté míry vždy a je korigována při finálním vážení vozidel na kolejové váze.

4 NÁVRH HLAVNÍHO RÁMU

Na základě stanovení celkové koncepce nové lokomotivy a návrhu uspořádání strojovny lze nyní přistoupit k hlavní části této diplomové práce – ke koncepčnímu návrhu hlavního rámu, který nese veškeré komponenty lokomotivy a současně musí odolávat značným silovým účinkům. Správné dimenzování rámu je nezbytným předpokladem pro dodržení plánované životnosti lokomotivy, která se obvykle stanovuje minimálně na 30 let. Často se však stává, že hlavní rámy výrazně překračují svou plánovanou životnost a po nezbytných úpravách mohou sloužit jako základ různým komplexním modernizacím.

Požadavky na hlavní rám lze rozdělit na **rozměrové, hmotnostní a pevnostní**, čemuž bude odpovídat i členění dalších částí této práce. Na základě definovaných požadavků bude dále proveden konstrukční návrh rámu, který bude závěrem podroben pevnostní kontrole pomocí metody konečných prvků (dále jen MKP) pro ověření správného dimenzování.

4.1 Rozměrové požadavky na hlavní rám

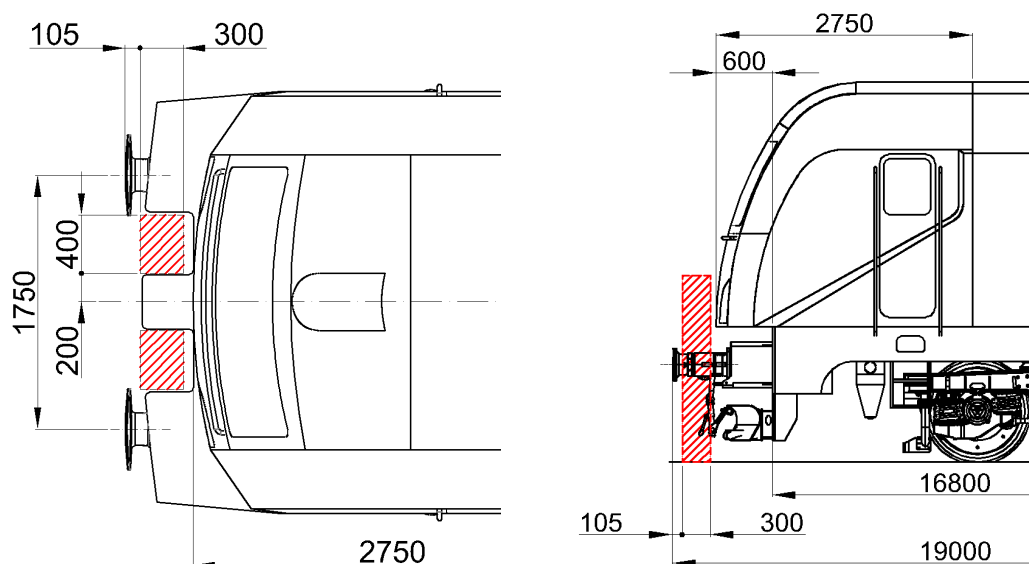
Rozměrovými požadavky rozumíme zejména výšku horní roviny rámu a dále celkovou délku a šířku rámu. První uvedený rozměr souvisí zejména s umístěním rámu na sekundárním vypružení, a také s nutností dodržení předepsané výšky nárazníků či spřáhla. Délka hlavního rámu je dána především prostorovými nároky komponentů trakční výzbroje a pomocných pohonů a též kabin. Šířka rámu vychází z tzv. obrysu pro vozidla, jehož dodržení zaručuje bezpečný průjezd okolo prvků infrastruktury. Určení těchto rozměrových parametrů bude podrobně popsáno v následujících odstavcích.

4.1.1 Výška horní roviny hlavního rámu

Stanovení výšky horní roviny hlavního rámu vychází z podobnosti s lokomotivou řady 744.1, ze které budou převzaty podvozky, čepy pro přenos podélných sil mezi podvozkem a skříní, nárazníky včetně deformačních prvků a pluhy. To znamená, že pro integraci těchto prvků do hlavního rámu je vhodné vycházet ze základních rozměrů hlavního rámu lokomotivy 744.1, neboť je dána např. výška dosedacích ploch pro sekundární vypružení a další. Horní plocha hlavního rámu se u této lokomotivy nachází **ve výšce 1500 mm** nad rovinou TK, což je žádoucí zachovat i u navrhované lokomotivy s ohledem na jednodušší zástavbu výše uvedených společných prvků. Pokud by se však ukázalo, že lze tuto výšku o něco snížit bez nutnosti konstrukčních změn u přebíraných prvků, bylo by to žádoucí s ohledem na prostor pro komponenty ve strojovně i vstupní dveře do kabin, viz dále.

4.1.2 Délka hlavního rámu

Na základě přibližné délky strojovny, stanovené v části 3.3, lze nyní přistoupit k definování celkových rozměrů hlavního rámu navrhované lokomotivy. Strojovna bude vyžadovat na délku přibližně 12,3 m, resp. 12,5 m včetně obou mezistěn kabina/strojovna. Vzhledem k tomu, že detailní uspořádání kabin strojvedoucího není předmětem této práce, je třeba jejich délkový rozměr pouze odhadnout. Pro inspiraci lze porovnat prostory pro kabinu u moderních lokomotiv z úvodní rešerše, u nichž se délka kabiny pohybuje přibližně v rozmezí 2,5 až 3 m v nejdelším místě. Bude-li tedy délka kabiny dosahovat středních 2,75 m, lze prostor označit za dostatečně komfortní. Hlavním cílem, definovaným též v kap. 1.4, je vytvoření takového prostoru, aby bylo možné pohodlně projít mezi sedadlem strojvedoucího a zadní stěnou kabiny, aniž by bylo nutné sedadlo přisunout k řídicímu pultu (což u řady 753.6 nelze, neboť je délkově omezena původním hlavním rámem lokomotiv 753). V porovnání s řadou 753.6, kde délka kabiny činí cca 1,9 m, bude tedy navrhovaná kabina o 85 cm delší.



Obr. 16: Znázornění Bernského prostoru v půdorysu (vlevo) a přesahu kabiny přes čelník (vpravo).

Celková délka skříň lokomotivy bude tedy dosahovat 18,0 m (12,5 m strojovna + 2 · 2,75 m kabiny). To však neznamená, že taková bude i délka hlavního rámu přes čelníky, neboť z důvodu značné osově délky nárazníků a za nimi umístěných deformačních elementů lze nechat kabiny (skříň) částečně přesahovat i přes čelníky, tzn. nad deformační elementy. Maximální přesah je dán nutností zachovat tzv. Bernský prostor, který definuje bezpečný prostor pro obsluhující personál, viz obr. 16. I po stlačení nárazníků (105 mm) musí být zachován prostor o délce 300 mm, šířce 400 mm a výšce 2000 mm [26]. Z toho tedy lze odvodit, jakého max. přesahu může kabina dosahovat. **Celková délka hlavního rámu přes čelníky** bude tedy přibližně o 1,2 m kratší, než je výše uvedená délka lokomotivní skříňe – **cca 16,8 m**. Při použití shodných deformačních elementů a stejného typu nárazníků jako u lokomotiv řady 744.1 lze určit i **délku lokomotivy přes nárazníky**, která takto vychází **přibližně 18,9 m**.

4.1.3 Šířka hlavního rámu

Stanovení šířky rámu vychází z obrysu pro vozidla. Jeho stanovení definuje norma ČSN EN 15273-2+A1 [27] na základě mnoha parametrů, z nichž některé je v době projektování vozidla poměrně těžké stanovit a mnohdy jsou zjištěny až v rámci zkoušek již hotového prototypu (součinitel náklonu, výška pólu naklonění apod.).

Pro navrhovanou lokomotivu je vzhledem k plánovanému univerzální použití uvažováno s obrysem pro vozidlo G1, který je nejmenším normálněrozchodným obrysem (kromě britských). Výpočet bude proveden pro kinematický obrys, neboť lze předpokládat, že součinitel náklonu bude vyšší než 0,2; což je nejvyšší hodnota dovolující výpočet dle statického obrysu. K výpočtu jsou potřebné následující parametry (viz tab. 11), z nichž některé jsou stanoveny dle [28] na základě shodnosti pojezdu s lokomotivou řady 744:

Tab. 11: Parametry potřebné k výpočtu obrysu pro vozidlo.

| Parametr | Označení dle normy | Hodnota | Jednotka |
|---------------------------------------|--------------------|---------|----------|
| délka přes čelníky | – | 16,8 | [m] |
| vzdálenost otočných čepů | a | 10,0 | [m] |
| rozvor náprav podvozku | p | 2,4 | [m] |
| příčná vůle v ložiskách | q | 0,011 | [m] |
| příčná vůle v uložení skříně | w_{∞} | 0,045 | [m] |
| součinitel náklonu | s | 0,4 | [–] |
| výška pólu náklonu | h_c | 0,5 | [m] |
| rozchod dvojkolí zmenšený opotřebením | d | 1,410 | [m] |

Výpočet kinematického obrysu je dle normy rozdělen do dvou částí:

- horní části vozidla nacházející se výše než 400 mm nad rovinou temene kolejnic (platí pro všechna vozidla jednotně);
- dolní části vozidla nacházející se 400 mm a níže nad rovinou temene kolejnic (liší se podle toho, zda vozidla smí přejíždět kolejové brzdy, či nikoliv).

Pro konstrukci hlavního rámu je rozhodující první uvedená část, neboť veškeré prvky rámu budou umístěny výše než 400 mm nad rovinou temene kolejnic.

Bezpečný průjezd vozidla okolo částí infrastruktury, aniž by došlo ke vzájemné kolizi, zajišťuje příčné zúžení skříně. Ani v té nejnepříznivější poloze nemůže dojít k vybočení některé části vozidla z prostoru vymezeného vztahnou linií. Za nepříznivé podmínky se považuje:

1. postavení vozidla v oblouku o referenčním poloměru $R = 250$ m;
2. vymezení volného kanálu koleje a všech příčných vůlí v pojezdu vozidla;
3. naklopení skříňe vlivem průjezdu vozidla obloukem (zahrnované u kinematického obrysu).

Výpočet zúžení vozidla je rozdělen na oblasti mezi otočnými čepy (E_i) a vně otočných čepů (E_a) a je dán následujícími vztahy (pro zjednodušení zde nebude uveden úplný postup, pouze jeho nejpodstatnější části).

Oblast mezi otočnými čepy:

$$E_i = \frac{a \cdot n_i - n_i^2 + \frac{p^2}{4}}{500} + \frac{1,465 - d}{2} + q + w_{i(250)} + z_{cin} + [x_i]_{>0} - \begin{cases} 0,025 & (1) \\ 0,030 & (2) \end{cases} \quad (12)$$

Oblast vně otočných čepů:

$$E_a = \frac{a \cdot n_a + n_a^2 - \frac{p^2}{4}}{500} + \left(\frac{1,465 - d}{2} + q \right) \cdot \frac{2n_a + a}{a} + w_{i(250)} \cdot \frac{n_a}{a} + w_{a(250)} \cdot \frac{n_a + a}{a} + z_{cin} + [x_a]_{>0} - \begin{cases} 0,025 & (1) \\ 0,030 & (2) \end{cases} \quad (13)$$

kde:

- $[x_i]$, $[x_a]$ je přídatné zúžení pro vozidla s velkou vzdáleností otočných čepů – v tomto případě bude vždy záporné, tudíž není třeba jej uvažovat;
- (1) platí pro části nacházející se níže, než 400 mm nad rovinou TK;
- (2) platí pro části nacházející se výše, než 400 mm nad rovinou TK;
- n_i je vzdálenost daného místa směrem ke středu vozidla od bližšího otočného čepu;
- n_a je vzdálenost daného místa směrem k čelníku vozidla od bližšího otočného čepu;
- z_{cin} je kinematické zúžení;
- $w_{i(250)}$, $w_{a(250)}$ je příčná vůle mezi skříňí a podvozkem. Pokud se tato vůle nemění v závislosti na poloměru projížděného oblouku, platí: $w_{i(250)} = w_{a(250)} = w_{\infty}$, což je uvažováno i pro tento výpočet.

Kinematické zúžení

Jak bylo uvedeno výše, kinematické zúžení zohledňuje vliv naklonění skříňe vozidla na koleji s převýšením 50 mm nebo při průjezdu obloukem s nedostatkem převýšení 50 mm. Do výpočtu vstupují 3 základní parametry:

- Součinitel náklonu s – vyjadřuje míru poddajnosti vypružení. Platí, že čím nižší je tuhost vypružení, tím vyšší je souč. náklonu a tím výraznější je zúžení v horních částech vozidla – skříň se v oblouku více naklání, tudíž musí být užší, aby nevybočovala z obrysu pro vozidlo.

- Pól náklonu – jedná se zjednodušeně o bod (podélnou osu), okolo kterého se skříň vozidla natačí při působení nevyrovnané příčné síly v těžišti vozidla. Pro výpočet je rozhodující výška h_c tohoto bodu nad rovinou TK. Není-li tato hodnota v době návrhu známá, pól náklonu lze zvolit ve výšce 0,5 m nad TK.
- Výška h dané části nad rovinou TK – jelikož se těžiště vozidla obvykle nachází nad pólem náklonu, skříň vozidla se vychyluje vlivem příčné síly působící v těžišti vně obrysu pro vozidla. Čím výše se dané místo skříňe nachází, tím větší bude zúžení v tomto místě.

Vzorec pro výpočet kinematického zúžení v plném znění dle normy [27] je následující:

$$z_{cin} = \frac{s}{30}(h - h_c)_{>0} + \tan(\eta_o - 1^\circ)_{>0} \cdot |h - h_c| + \left[\frac{s}{30}(h - h_c)_{>0} - 0,04 \cdot (h - 0,5)_{>0} \right]_{>0}, \quad (14)$$

kde:

- η_o [°] je vliv nesymetrie (konstrukce, tuhosti vypružení,...). V tomto případě bude zanedbán. U lokomotiv obvykle nepřesahuje 1 °.

V určitých případech se vzorec (14) výrazně zjednoduší. Protože platí, že:

- $s \leq 0,4$;
- $h > h_c$ a 0,5;
- $\eta_o \leq 1^\circ$;

lze použít pouze 1. část rovnice (14):

$$z_{cin} = \frac{s}{30}(h - h_c) \quad (15)$$

Výsledky výpočtu obrysu pro vozidlo

Na základě znalosti všech výše uvedených hodnot lze přistoupit k výpočtu obrysu pro vozidlo. Je třeba doplnit, že tento výpočet pro zjednodušení nezohledňuje svislé posuvy skříňe vlivem deformace vypružení a opotřebení některých prvků, neboť tyto posuvy mají nejvýraznější vliv na dolní část obrysu pro vozidlo, která není předmětem této práce.

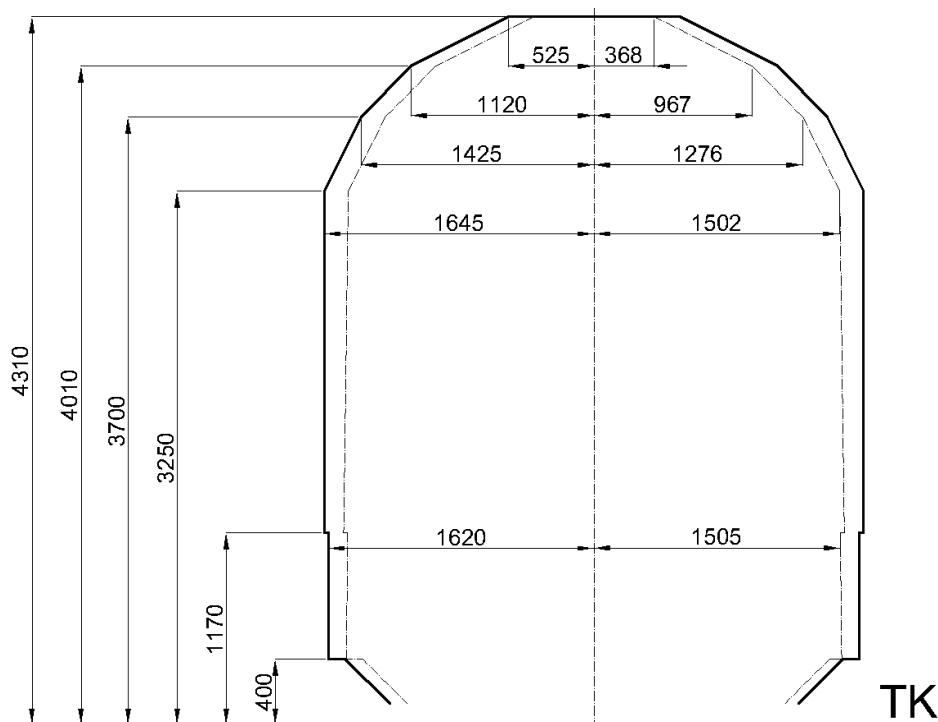
Komentář si zaslouží rovněž volba vzdálenosti otočných čepů vozidla, neboť ke stanovení této hodnoty je zapotřebí hlubší rozvahy s ohledem na jízdní vlastnosti vozidla. Vzdálenost otočných čepů má rovněž vliv na příčné namáhání flexi-coil pružin sekundárního vypružení. Tyto záležitosti však vyžadují posouzení metodami simulace jízdy kolejového vozidla, což výrazně přesahuje rámec této práce. Pro stanovení obrysu pro vozidlo bude tedy uvažována průměrná hodnota dle úvodní rešerše. Vzdálenosti ot. čepů zde uvedených lokomotiv se pohybují v rozmezí 9,5 až 10,7 m (lokomotiva Stadler UKLight není pro svou délku a specifický britský profil uvažována). Proto bude pro návrh nové lokomotivy uvažována hodnota 10 m.

Výsledky výpočtu obrysu pro vozidlo jsou uvedeny v tab. 12, a to pro jednotlivé výškové úrovně nad rovinou TK bez započítání svislých posuvů vypružených částí vozidla. Šířka obrysu je vypočítána pro tři rozhodující místa – v úrovni otočných čepů vozidla (zde je zúžení nejmenší), v úrovni příčné osy vozidla a nakonec v úrovni čelníků, kde je zúžení největší. Výsledky názorně ukazují, jak se hodnoty zúžení s rostoucí výškou nad rovinou TK zvětšují, což je dáno vlivem kinematického zúžení.

Tab. 12: Zúžení a šířka obrysu pro vozidlo v různých výškových úrovních.

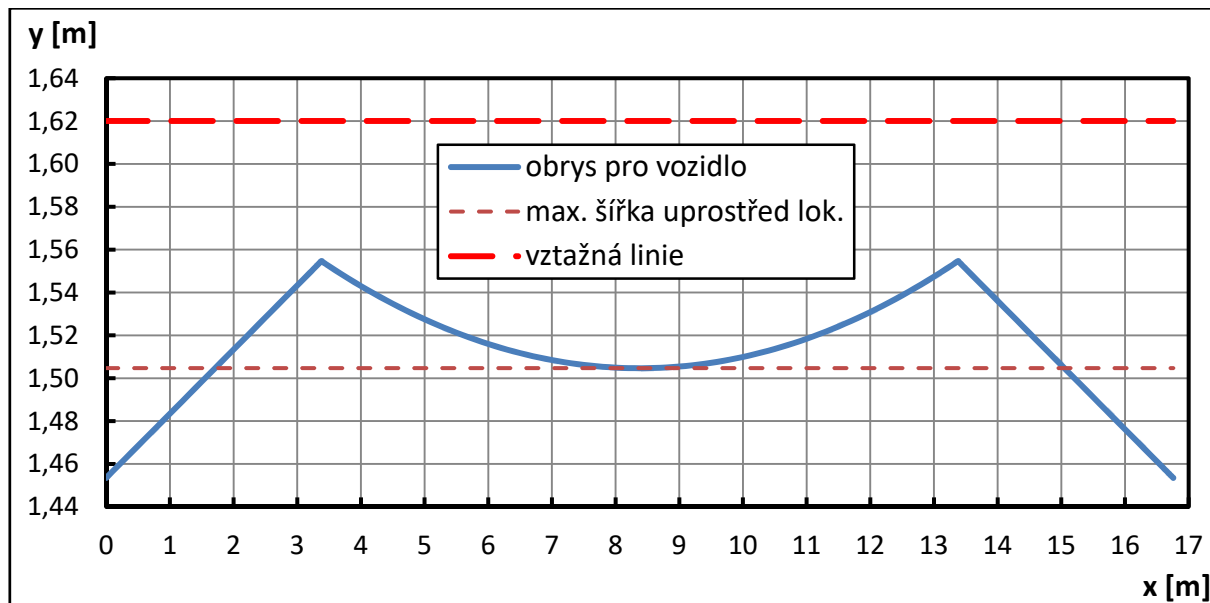
| Výška nad rovinou TK [mm] | 1170 | 3250 | 3700 | 4010 | 4310 |
|--|------|------|------|------|------|
| Šířka vztažného obrysu [mm] | 3240 | 3290 | 2850 | 2240 | 1050 |
| Zúžení v úrovni otočných čepů [mm] | 65 | 93 | 99 | 103 | 107 |
| Šířka obrysu v úrovni otočných čepů [mm] | 3110 | 3104 | 2652 | 2034 | 836 |
| Zúžení uprostřed lokomotivy [mm] | 115 | 143 | 149 | 153 | 157 |
| Šířka obrysu uprostřed lokomotivy [mm] | 3010 | 3004 | 2552 | 1934 | 736 |
| Zúžení u čelníku [mm] | 167 | 194 | 200 | 204 | 208 |
| Šířka obrysu u čelníku [mm] | 2906 | 2902 | 2450 | 1832 | 634 |

Pro názornost je vhodnější výsledky výpočtu znázornit graficky, a to nejprve v rovině kolmé k ose koleje, viz obr. 17. Plnou čarou je znázorněna vztažná linie kin. obrysu G1 včetně příslušných rozměrů a čárkovanou čarou obrys pro vozidlo v úrovni středu lokomotivy.



Obr. 17: Znázornění obrysu pro vozidlo v úrovni středu lokomotivy. Plnou čarou je znázorněna vztažná linie kinematického obrysu G1, čárkovanou čarou vypočítaný obrys pro vozidlo.

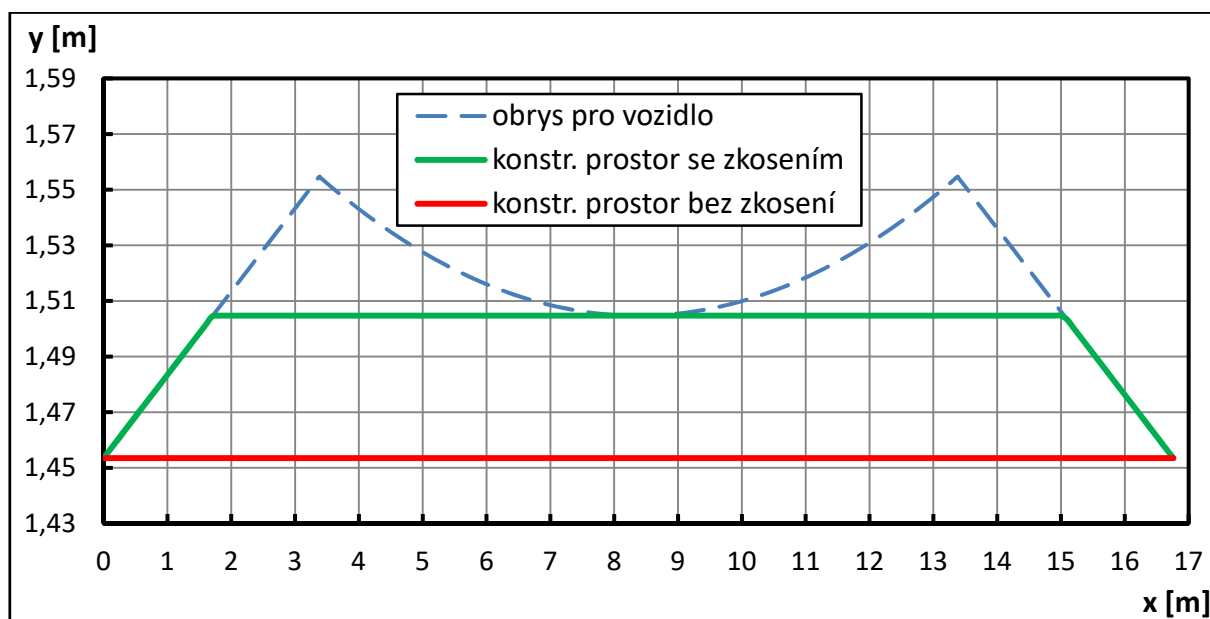
Půdorysné znázornění vypočítaného obrysu pro vozidlo je na obr. 18. Osa y zde představuje vzdálenost od podélné osy vozidla. Osa x představuje délkovou souřadnici od jednoho čelníku ke druhému. Otočné čepy vozidla se nacházejí v místech, kde je obrys, resp. jeho polovina, nejširší.



Obr. 18: Znázornění poloviny vypočítaného obrysu pro vozidlo ve výšce 1170 mm nad rovinou TK.

Nyní následuje rozhodnutí, jaký půdorys hlavního rámu zvolit. V zásadě existují 2 možnosti:

1. půdorys využívající plnou šířku obrysu v úrovni příčné osy vozidla, se zkosením u čelníků (viz obr. 19, zelená barva);
2. půdorys s konstantní šířkou v celé délce, odpovídající max. šířce obrysu v úrovni čelníků (viz obr. 19, červená barva).



Obr. 19: Znázornění konstrukčního prostoru pro vozidlo.

Je však třeba uvážit rovněž otázku tvaru v rovině příčné k ose koleje, neboť maximální výška bočnice je závislá na šířce skříňe. Obecně platí, že čím širší bude skříň, tím nižší musí být svislá bočnice, což vyplývá ze zkosení obrysu ve střešních partiích. Zlom mezi svislou částí vztažné linie a střešním zkosením se nachází v obrysu G1 ve výšce 3250 mm nad rovinou TK. Existuje tedy dvojí přístup pro stanovení rozměrových parametrů skříňe:

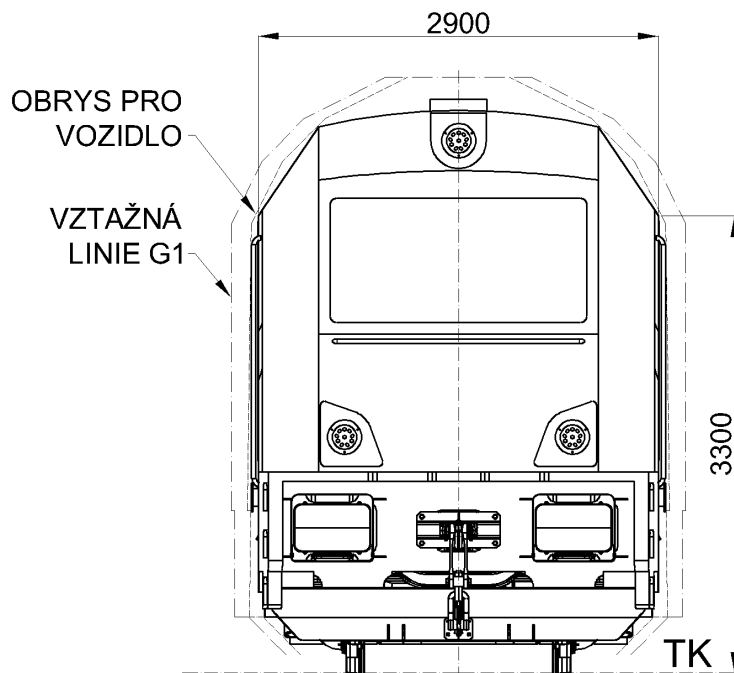
- na základě zvolené šířky rámu je stanovena max. výška svislé bočnice dle obrysu;
- na základě zvolené výšky bočnice je stanovena šířka rámu (skříňe).

Při použití druhého uvedeného přístupu lze uvažovat takto:

- Horní hrana hlavního rámu bude umístěna ve výšce přibližně 1500 mm nad rovinou TK, což je dáno použitím podvozků, svislých čepů, nárazníků a deformačních elementů z lokomotivy řady 744.1.
- Vstupní dveře do kabiny musí mít dle TSI LOC&PAS [29] světlou výšku minimálně 1675 mm, což je však velmi nízká hodnota a je vhodné ji zvýšit alespoň na 1700 mm. Dále je třeba k této výšce připočítat i určitý prostor nad a pode dveřmi pro kostru kabiny, např. 100 mm. Bočnice v oblasti dveří do kabiny musí být tedy alespoň 1800 mm vysoká, což vyžaduje horní hranu bočnice ve výšce 3300 mm nad TK. To je však hodnota vyšší, než 3250 mm v místě zlomu vztažné linie obrysu G1. Navíc v této úvaze nejsou započítány možné svislé pohyby skříňe na vypružení, které ještě zvyšují nároky na potřebnou výšku.

Je-li známá potřebná výška bočnice (min. 3300 mm) lze z vypočítaného obrysu získat maximální šířku skříňe a tedy i hlavního rámu, která takto činí cca 2954 mm. Vrátime-li se zpět k půdorysnému zobrazení konstrukčního prostoru pro vozidlo, je zřejmé, že max. šířka u čelníků činí 2906 mm, což je o 48 mm méně. Takto by tedy bylo nutné kvůli 24 mm na každé straně zúžit rám u čelníků. Nabízí se tedy varianta oželet těchto 48 mm šířky a navrhnout celý rám tak, aby nedocházelo k překročení max. šířky u čelníků, čímž se zjednoduší konstrukce i výroba (viz varianta bez zkosení na obr. 19). Pokud by tedy šířka rámu v celé jeho délce mezi čelníky byla zaokrouhlena na 2900 mm, lze dosáhnout výšky bočnice 3353 mm. Pokud by se však v průběhu projektování ukázalo, že tato šířka skříňe pro komponenty ve strojně nedostačuje, lze se vydat cestou využití maximální šířky uprostřed lokomotivy (2954 mm) se zkosením skříňe směrem k čelníkům. Je třeba doplnit, že vypočítaná výška bočnic bude ve skutečnosti ještě mírně snížena (max. několik desítek mm) vlivem svislých pohybů skříňe na vypružení, které ve výpočtu nebyly pro zjednodušení uvažovány.

Na obr. 20 je zobrazena možná podoba lokomotivy se znázorněným obrysem pro vozidlo v úrovni středu lokomotivy, včetně vztažné linie obrysu G1. Šířka skříňe je tedy v celé délce 2900 mm a výška horní hrany bočnice 3300 mm nad TK pro zachování rezervy pro svislé pohyby skříňe. Prostorová rezerva v oblasti otočných čepů je využita pro zvedací čepy.



Obr. 20: Znárodnění zvolené šířky skříňe a výšky bočnice v kin. obrysu G1. Obrys pro vozidlo je zobrazen pro úroveň středu lokomotivy.

4.1.4 Shrnutí rozměrových požadavků na hlavní rám (skříň)

- výška horní plochy rámu max. 1500 mm nad rovinou TK;
- celková délka strojovny 12500 mm;
- délka kabiny v nejdělsím místě 2750 mm;
- celková délka skříňe lokomotivy 18000 mm;
- délka rámu přes čelníky 16800 mm;
- délka přes nárazníky 18940 mm;
- vzdálenost otočných čepů 10000 mm;
- šířka rámu 2900 mm v celé délce;
- maximální výška bočnice 3300 mm nad TK.

4.2 Hmotnostní požadavky na hlavní rám

Jak vyplynulo z části 1.4.1, navrhovaná lokomotiva bude mít význam pouze v případě, že bude dodrženo nápravové zatížení 20 tun. Celková hmotnost lokomotivy tedy nemůže přesáhnout 80 tun. Jelikož je již známo přibližné uspořádání strojovny, potažmo celé lokomotivy, lze orientačně určit, jakou maximální hmotnost může mít hlavní rám lokomotivy, aby nedošlo k překročení požadovaných 80 tun. Částečná hmotnostní rozvaha byla již provedena v části 3.3.1. Týkala se však výhradně prvků strojovny, a proto je vhodné na tomto místě provést hmotnostní rozvahu detailněji, se zohledněním všech významných prvků. Jejich celkový souhrn je uveden v tab. 13.

Tab. 13: Celková hmotnostní rozvaha.

| Komponent | Počet kusů | Hmotnost 1 kusu [kg] | Hmotnost všech kusů [kg] |
|---|------------|-------------------------|-----------------------------|
| motorgenerátor | 1 | 13000 | 13000 |
| kompresor | 1 | 600 | 600 |
| chladicí blok | 1 | 1500 | 1500 |
| rozvaděč R3 | 1 | 650 | 650 |
| blok pneumatických přístrojů | 1 | 500 | 500 |
| ETCS | 1 | 400 | 400 |
| rozvaděč R2 | 1 | 400 | 400 |
| rozvaděč R1 + trakční střídače + usměrňovač | 1 | 640 | 640 |
| EDB | 1 | 660 | 660 |
| VCHTM | 2 | 150 | 300 |
| dávkovač AdBlue | 1 | 200 | 200 |
| palivová nádrž + nádrž AdBlue | 1 | 5945 | 5945 |
| baterie + rozvaděč R5 | 1 | 700 | 700 |
| nárazník | 4 | 314 | 1256 |
| spřáhlo | 2 | 150 | 300 |
| pluh | 2 | 160 | 320 |
| písečník | 8 | 150 | 1200 |
| vzduchojemy | 2 | 220 | 440 |
| kabina | 2 | 3000 | 6000 |
| podvozek | 2 | 13400 | 26800 |
| hliníková střecha | 1 | 800 | 800 |
| Celková hmotnost [kg] | | | 62611 |

Souhrnná hmotnost veškerého uvažovaného vybavení lokomotivy mírně přesahuje 62,6 t, což znamená, že pro hmotnost skříně (bez kabin a odnímatelných střech strojovny) zbývá cca 17,4 t. Při započítání určité rezervy z důvodu odhadu hmotnosti některých prvků lze za **limitní hodnotu hmotnosti skříně lokomotivy uvažovat 17 tun**. Je zřejmé, že bude velmi obtížné tento limit dodržet při zachování dostatečné tuhosti rámu.

4.3 Pevnostní požadavky na hlavní rám

Na pevnost skříní kolejových vozidel jsou kladeny náročné požadavky. Kromě statické pevnosti je v posledních letech pozornost soustředěna na tzv. crashovou odolnost, tzn. odolnost proti nárazu. Nehodových událostí na železnici obecně přibývá a bohužel se udály i mnohé případy nehod, jejichž tragické následky mohly být teoreticky mírnější, pokud by se jednalo o vozidla, splňující současné požadavky nárazové odolnosti.

4.3.1 Statická pevnost

Minimální požadavky na statickou pevnost a odolnost skříní kolejových vozidel jsou definovány normou ČSN EN 12663-1 + A1 [30]. Pro jednotlivé kategorie vozidel jsou přesně definována zatížení, kterým musí skříň odolávat po celou dobu životnosti bez vzniku trvalých deformací a poškození. Odolnost těmto zatížením je nutné prokázat výpočtem ve fázi návrhu vozidla a/nebo ověřit pevnostními zkouškami.

Při předepsaných zatíženích nesmí docházet k trvalým deformacím nebo porušení konstrukce. S výjimkou místních koncentrací nesmí napětí v konstrukci při zatížení překročit mez pružnosti nebo kluzu materiálu. Vypočítané napětí v daném místě je porovnáváno s přípustným napětím a tzv. využití prvku nesmí být vyšší než 1, viz vzorec (16).

$$U = \frac{R_d \cdot S}{R_L} \leq 1, \quad (16)$$

kde: U je využití prvku;
 R_d je vypočítané napětí v daném místě;
 S je bezpečnostní součinitel;
 R_L je mezní hodnota napětí.

Konkrétně pro mez pružnosti nebo kluzu platí vztah:

$$U = \frac{\sigma_c \cdot S_1}{R} \leq 1, \quad (17)$$

kde: σ_c je vypočítané napětí v daném místě [N/mm^2];
 S_1 je bezpečnostní součinitel pro mez pružnosti nebo kluzu;
 R je mez pružnosti nebo 0,2% smluvní mez kluzu materiálu [N/mm^2].

Bezpečnostní součinitel pro případ návrhu ověřeného pouze výpočtem je roven 1,15. V případě, že bude skříň podrobena rovněž statickým pevnostním zkouškám, což je u zcela nové konstrukce nutností, může být použit bezp. součinitel 1,0.

Konstrukční zatížení

Norma ČSN EN 12663-1 předepisuje základní druhy zatížení skříně, kterým musí daná konstrukce odolat při splnění výše uvedených podmínek. Předepsaná zatížení se odlišují dle kategorie vozidla. V následujícím stručném přehledu jsou uvedena statická zatížení pro kategorii L (lokomotivy), do níž spadá navrhované vozidlo. Jednotlivé zatěžovací stavy jsou dále podrobněji popsány v části 5.4.

- a) Podélná statická zatížení skříně – síly v prostoru nárazníků a/nebo spřáhel (6.2.2 v [30])
- tlaková síla v místech uchycení nárazníků – 2000 kN;
 - tlaková síla pod úrovní nárazníků – u lokomotiv se neuvažuje;
 - tlaková síla působící na uchycení nárazníků úhlopříčně – 500 kN;
 - tahová síla na uchycení spřáhla – 1000 kN;
- b) Podélná statická zatížení – tlakové síly na čelní stěně (6.2.3 v [30])
- tlaková síla v oblasti čelníku 150 mm nad úrovní podlahy – 400 kN;
 - tlaková síla ve výšce spodního rámu okna (dolního okraje okna) – 300 kN;
 - tlaková síla v úrovni vaznice – u lokomotiv se neuvažuje;

Pozn.: Výše uvedené podélné síly musí být uvažovány v kombinaci se svislým zatížením hmotností m_1 při zrychlení 1 g.

- c) Svislá statická zatížení skříně vozidla (6.3 v [30])
- maximální provozní zatížení – $1,3 \cdot g \cdot m_1$;
 - zdvihání a zvedání ve stan. místech na jednom konci vozidla – $1,1 \cdot g \cdot (m_1 + m_2)$;
 - zdvihání a zvedání celého vozidla na stanovených místech – $1,1 \cdot g \cdot (m_1 + 2 \cdot m_2)$;
 - zdvihání a zvedání při posunutí opěrného místa o 10 mm nad rovinu ostatních míst;
 - nakolejování a vyprošťování.
- d) Mezní statická zatížení vazeb (6.5 v [30])
- mezní zatížení spojení skříně s podvozkem – podélně 3 g, příčně 1 g;
 - mezní zatížení v místech uchycení vybavení – podélně ± 3 g, příčně ± 1 g, svisle $(1 \pm c) \cdot g$, kde $c = 2$ na konci vozidla a lineárně klesá na 0,5 ve středu vozidla.

Pozn.: Hmotností m_1 je myšlena konstrukční hmotnost skříně vozidla v provozním stavu, tzn. 53,2 t; m_2 vyjadřuje konstrukční hmotnost jednoho podvozku, $m_2 = 13,4$ t.

4.3.2 Nárazová odolnost

Kromě výše uvedených statických zatížení, definovaných normou ČSN EN 12663-1, musí skříň lokomotiv plnit požadavky na odolnost proti nárazu neboli crashovou odolnost dle ČSN EN 15227 + A1 [31]. Tyto požadavky zásadně mění tvar a uspořádání čel lokomotiv a kabin strojvedoucího s ohledem na nutnost zabudování prvků pro pohlcování kinetické energie při nárazu. Definovány jsou čtyři kolizní scénáře:

1. čelní srážka 2 shodných souprav;
2. čelní srážka s jiným typem železničního vozidla (nákladní vůz o hmotnosti 80 t);
3. náraz rychlostí $V_{konstrukční} - 50$ km/h (maximálně však 110 km/h) do silničního vozidla na železničním přejezdu (silniční cisterna o hmotnosti 15 t stojící kolmo ke směru jízdy vlaku);
4. náraz do nízké překážky (požadavky na odolnost smetadla překážek).

První tři uvedené scénáře jsou čistě dynamické povahy, což výrazně přesahuje rámec této diplomové práce. Čtvrtý scénář je definován formou statického zatížení. Lze jej tedy uvažovat pro základní statické posouzení navrhovaného hlavního rámu.

Pro vozidlo s maximální provozní rychlostí 140 km/h jsou definována tato zatížení smetadla překážek (pluhu):

- statické zatížení v ose smetadla – 240 kN;
- statické zatížení ve vzdálenosti 750 mm příčně od osy vozidla – 200 kN.

Z důvodu složitosti problematiky crashové odolnosti není součástí této práce návrh kabiny strojvedoucího, neboť je zřejmé, že toto musí být řešeno ve spolupráci s odborníky majícími zkušenosti v tomto oboru. Rovněž přístup k informacím o této problematice je značně omezený, neboť se vždy jedná o know-how daného výrobce, mnohdy patentově chráněné. V principu se však vždy jedná o zabudování určité deformační zóny, která se při nárazu cíleně deformuje a pohlcuje energii, zatímco jiná, značně tuhá část kabiny zůstává nedeformovaná a tvoří tzv. prostor pro přežití.

Pro účely této práce bude na statickou pevnost posuzována část hlavního rámu mezi čelníky včetně (čelníkem je myšlen silný plech, na který jsou vnášeny tlakové síly od nárazníků a tahové síly od spřáhla) a rovněž konzoly pro uchycení smetadla překážek (pluhu). Je předpokládáno, že mezi čelníky a samotnými nárazníky budou umístěny deformační elementy po vzoru lokomotivy řady 744.1. Dle norem je však umožněno vnášení podélných sil přímo na plech čelníku, nikoliv nutně přes tyto deformační elementy. Jedná se tedy o zcela přípustné zjednodušení.

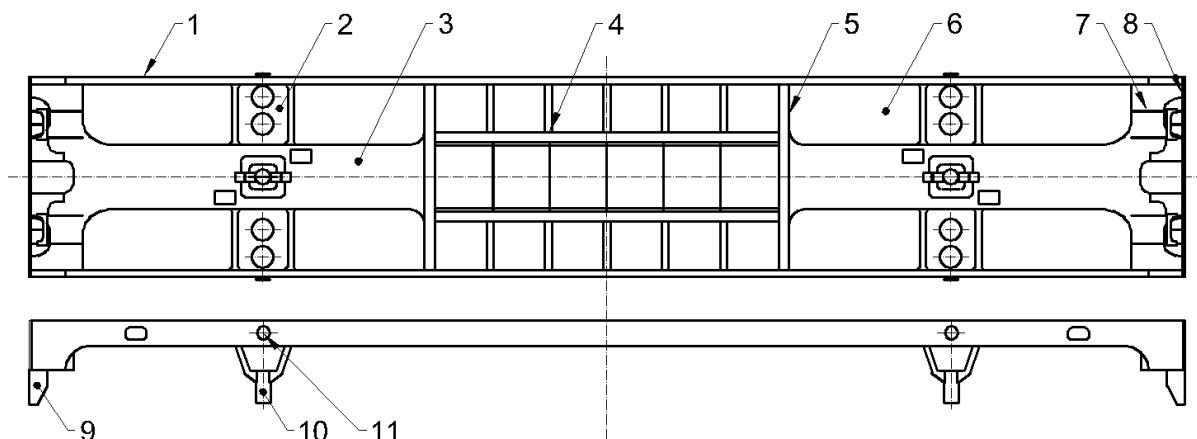
4.4 Konceptní návrh rámu

Při znalosti základních požadavků lze přistoupit k návrhu konstrukčního řešení hlavního rámu. U lokomotiv je obecně uspořádání rámu velmi rozličné a odvíjí se zejména od uložení na sekundárním vypružení. Příkladem může být starší koncepce využívaná u lokomotiv ČKD, kdy samotný rám je umístěn na pryžokovových sloupcích poměrně vysoko nad rovinou TK a celé podvozky se tak nachází pod rámem. Naproti tomu u starších elektrických lokomotiv výrobce Škoda Plzeň byla využívána koncepce tzv. podvlečeného příčnicku, což umožňovalo umístění skříně níže. Na pohled je tato odlišnost zřejmá v tom, že rám podvozku není – na rozdíl od výše zmiňovaných lokomotiv ČKD – viditelný a je ukryt v dutině skříně.

Moderní lokomotivy typu Vectron, TRAXX, Hercules a další se více blíží uspořádání lokomotiv Škoda – hlavní rám z vnější strany obchází podvozky a z části je překrývá. Sekundární vypružení tudíž není připojeno k rámu v jeho dolní rovině, ale v té horní. Vzhledem k tomu, že podvozky lokomotivy řady 744, které budou využity u zde navrhované lokomotivy, jsou řešeny obdobným způsobem jako u typů Vectron nebo EuroRunner, lze se s výhodou inspirovat uspořádáním rámu těchto lokomotiv. Některé vhodné partie budou převzaty z lokomotivy 744.1 CZ LOKO, zejména z oblasti čelníků, neboť správnost toto řešení je již ověřena pevnostními výpočty.

Navrhovaný rám tvoří tyto hlavní části (viz obr. 21):

1. vnější podélníky skříňového průřezu;
2. neprůběžné příčnický pro uložení skříně na sekundární vypružení;
3. hlavní centrální podélník skříňového průřezu, který je nositelem čepu pro přenos podélných sil na podvozek;
4. střední podélníky skříňového průřezu ve střední části rámu, na nichž bude uložen motorgenerátor;
5. střední příčnický skříňového průřezu tvořící přechod mezi hlavním středním podélníkem a podélníky motorgenerátoru;
6. horní krycí plech;
7. další podpůrné prvky pro rovnoměrné rozložení podélných a svislých sil;
8. čelní plech, tzv. čelník;
9. konzoly pro připojení smetadla překážek;
10. otočné čepy pro přenos tažných/brzdných sil ze skříně na podvozek;
11. čepy pro zvedání neboli zvedací místa.



Obr. 21: Navrhované uspořádání hlavního rámu.

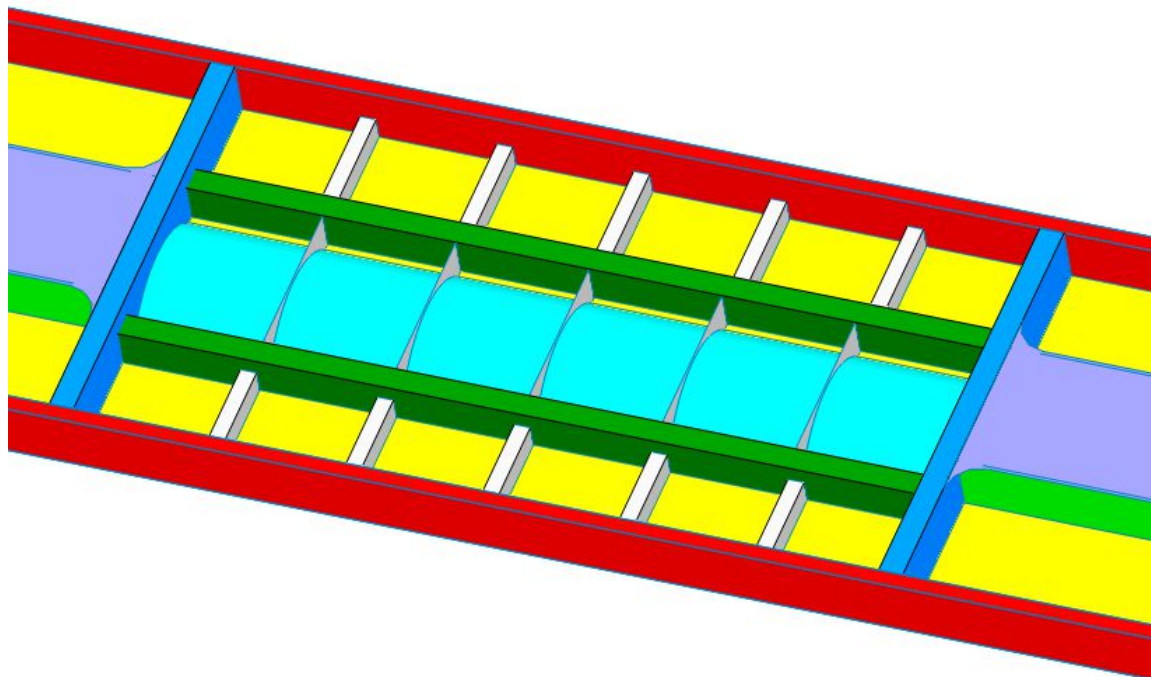
Navrhované řešení s použitím nosníků uzavřeného průřezu poskytuje dostatečnou tuhost, čímž lze dosáhnout co nejnižší možné tloušťky použitých plechů s ohledem na snahu o minimální hmotnost rámu. Zároveň je pamatováno na rozhraní mezi podvozkem a rámem, které musí umožnit připojení podvozků z řady 744.1 bez nutnosti zásahů do jejich konstrukce. Z toho důvodu je spodní plech centrálního podélníku, ke kterému bude přivařen otočný čep, umístěn ve stejné výši nad TK jako u lokomotivy 744.1. Rovněž dosedací plochy pro sekundární vypružení jsou ve stejné výši, ovšem s tím rozdílem, že bude opuštěno řešení se stavitelnou maticí pro regulaci předpětí pružin, neboť navrhované řešení neumožňuje přístup k maticím (jsou překryty vnějšími podélníky). Nastavování předpětí pružin II. vypružení je tedy navrhováno pomocí podložek, jako u lokomotiv zahraniční produkce.

4.4.1 Střední část rámu

Jak již bylo uvedeno v úvodní části této kapitoly, střední část hlavního rámu je tvořena vnějšími podélníky (na obr. 22 znázorněno červenou barvou), středními podélníky motorgenerátoru (tmavě zelená barva), středními příčníky (modrá barva) a podpůrnými příčníky mezi vnějšími podélníky a podélníky motorgenerátoru (šedé). Tyrkysovou barvou je zobrazen plech vany pod spalovacím motorem, která slouží k zachycení oleje při případném úniku. Žlutou barvou je proveden horní krycí plech celého rámu. V levé a pravé části obrázku lze vidět také připojený centrální podélník, směřující k čelníkům hlavního rámu. Světle zelenou barvou jsou zobrazeny jeho stojiny a fialovou barvou patní (vodorovný) plech. Všechny plechy jsou uvažovány jako 10 mm silné. Výjimkou je plech tvořící olejovou vanu, který neplní nosnou funkci a je tedy uvažováno s tloušťkou 3 mm. Po provedení pevnostní analýzy lze samozřejmě tloušťky plechů přizpůsobit dle získaných výsledků, tzn. nedostatečně dimenzované plechy zesílit a naopak předimenzované plechy zeslabit, s ohledem na hmotnostní optimalizaci rámu.

Střední část rámu bude z hlediska svislých zatížení tou nejexponovanější, neboť bude nositelem motorgenerátoru a také palivové nádrže, nádrže na AdBlue, hlavních vzduchojemů

a akumulátorů. Všechny tyto celky budou velmi pravděpodobně uchyceny ke středním podélníkům (tmavě zelená barva). Detailní provedení úchytů vybavení však není s ohledem na koncepční návrh řešeno. Lze předpokládat standardní provedení těchto úchytů, běžně používané společností CZ LOKO.



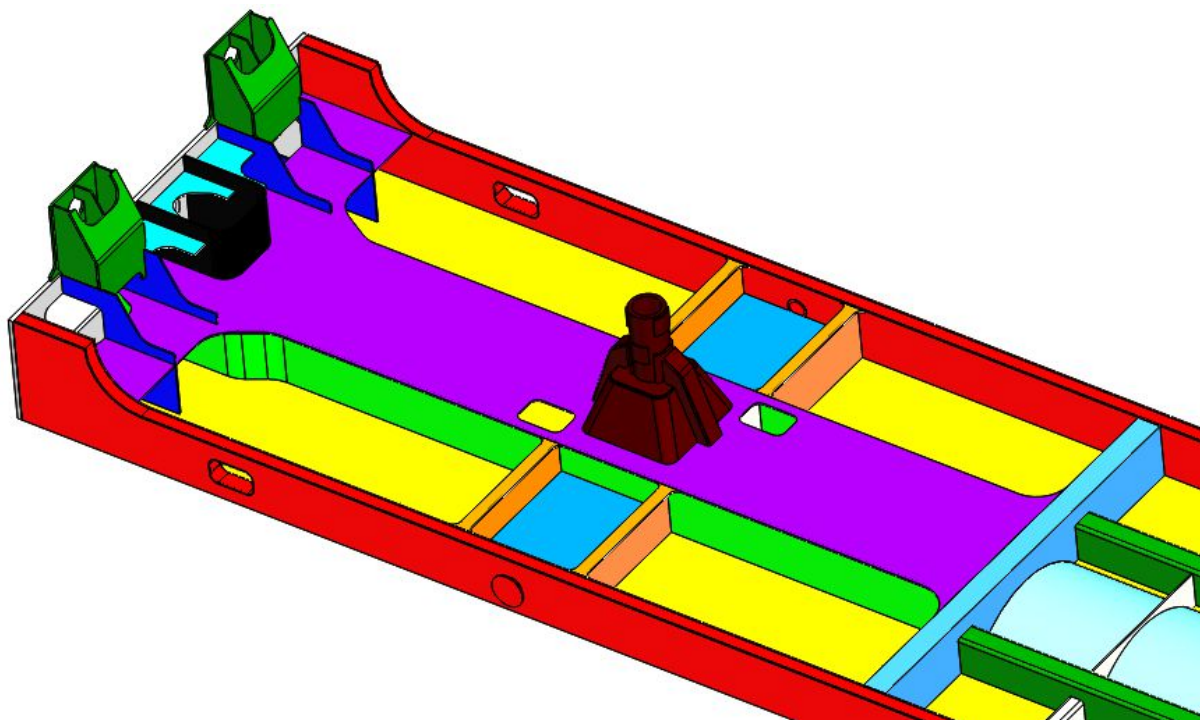
Obr. 22: Model střední části rámu.

4.4.2 Čelní část rámu

Na obr. 23 je znázorněna čelní část navrhovaného rámu s barevně odlišenými prvky. V pravé části navazuje výše popsaný střed rámu s olejovou vanou. Červenou barvou jsou opět znázorněny vnější podélníky, které se však u čelníku zvyšují tak, aby měly stejnou výšku jako plech čelníku. Zároveň jsou zde viditelné otvory sloužící jako schod do kabiny strojvedoucího. Ve střední části je fialovou barvou znázorněn vodorovný plech centrálního podélníku s jeho stojinami (světle zelená barva). Dva diagonálně umístěné otvory ve vodorovném plechu slouží k výstupu chladicího vzduchu k trakčním motorům. Vzduchovody od VCHTM jsou uvažovány přímo v centrálním podélníku. Dále je k tomuto podélníku přivařen otočný čep pro přenos podélných sil z podvozku na skříň (na obr. 23 hnědou barvou) a dále se v této části nachází neprůběžné příčníky, které tvoří dosedací místa sekundárního vypružení (světle modré vodorovné plechy ohraničené oranžovými stojinami).

Podíváme-li se na uspořádání rámu přímo u čelníku, který je tvořen 30 mm silným plechem s otvory pro připojení nárazníků s deformačními elementy a tažného háku, je zde dále černou barvou znázorněn plech ohraničující prostor pro tažný hák, resp. jeho vypružení, a také tmavě modré svislé plechy nesoucí konzoly smetadla překážek (tmavě zelené). Zbývá uvést ještě tyrkysové vodorovné plechy sloužící jako výztuhy.

Pro plechy použité v čelní části rámu je rovněž uvažována tloušťka v rozmezí 10 až 15 mm s následnou optimalizací dle výsledků pevnostních analýz. Výjimku tvoří samotný plech čelníku tloušťky 30 mm. U motorových lokomotiv z produkce CZ LOKO, potažmo ČKD, jsou však běžně používány čelníky tloušťky až 60 mm, což je v tomto případě s ohledem na hmotnost nepřijatelné.



Obr. 23: Model čelní části rámu.

4.4.3 Zvedací místa

Nezbytnou součástí hlavního rámu jsou místa, určená pro zvedání a nakolejování lokomotivy. Zvedání skříňe je běžným úkonem při provádění údržbových prací, např. při vyvazování podvozků. V některých případech může docházet ke zvedání celé lokomotivy včetně podvozků, např. při přepravách lokomotivy k zákazníkovi lodní dopravou s nutností překládky na loď. To je však spíše výjimečný případ. Dalším způsobem je nakolejování lokomotivy, které probíhá přizvednutím za daná místa u čelníku rámu, tj. pouze na jednom konci lokomotivy. Celkově tedy na hlavním rámu musí být umístěna:

- čtyři místa pro zvedání lokomotivy – v oblasti otočných čepů;
- čtyři místa pro nakolejování – v oblasti čelních partií rámu.

Místa pro zvedání bývají řešena zpravidla dvěma způsoby. Tím prvním jsou čepy z ocelové trubky zakončené kruhovým plechem o větším průměru, než je vnější průměr trubky. Tento způsob je zcela typický pro lokomotivy české konstrukce, viz obr. 24.



Obr. 24: Zvedací místa na hlavním rámu modernizované lokomotivy řady 774.714. Zcela vpravo je místo pro nakolejování, zbývající dvě označená místa slouží ke zvedání celé lokomotivy.

Moderní lokomotivy západních výrobců využívají konstrukčně jednodušší prvky ke zvedání a nakolejování. V daných místech jsou ke spodní pásnici vnějších podélníků rámu přivařeny pouze plechy s protiskluzovou úpravou (lístkové plechy) a takto jsou řešena jak zvedací, tak nakolejovací místa, viz obr. 25 a obr. 26.

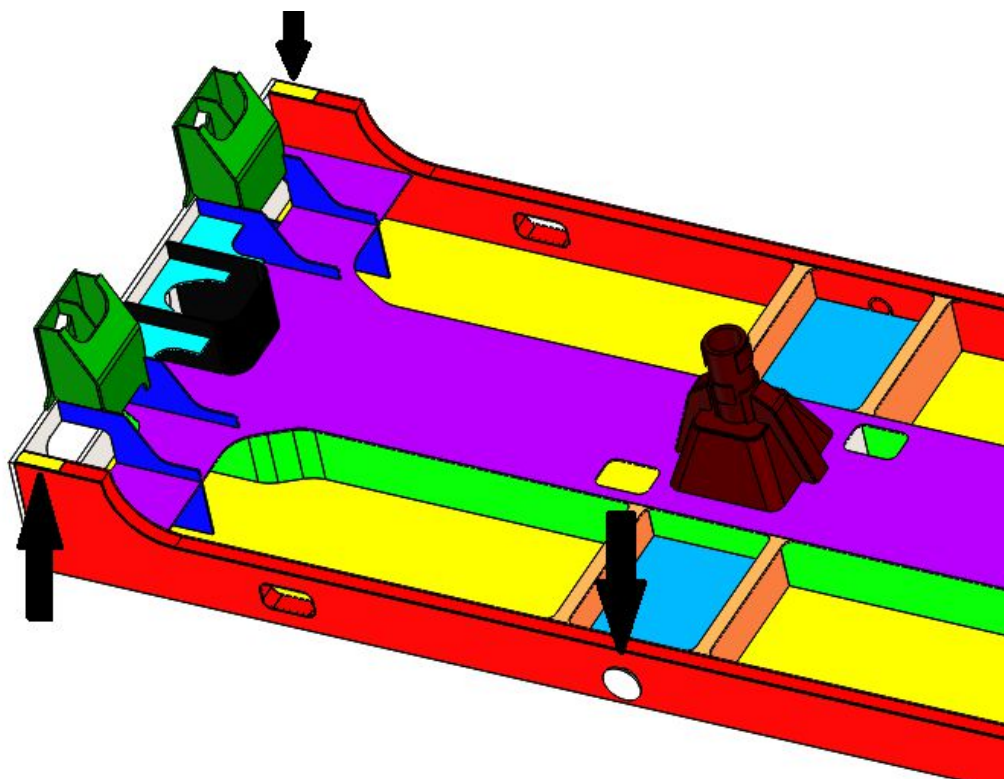


Obr. 25: Dvě zvedací místa (vlevo) a nakolejovací místo (vpravo) na rámu lokomotivy Siemens Vectron.



Obr. 26: Detail provedení nakolejovacího místa u čelníku lokomotivy Siemens EuroRunner.

Pro navrhovanou lokomotivu je doporučeno řešení kombinující oba výše uvedené způsoby, tj. čepy pro zvedání a protiskluzové plechy pro nakolejování. Důvody pro volbu tohoto řešení jsou následující – výrobce (CZ LOKO) i většina českých opraven lokomotiv jsou technologicky vybaveni zařízeními pro zvedání lokomotiv za uvedené čepy, a proto je vhodné tento systém zachovat. Naproti tomu pro nakolejovací místa, zobrazená na obr. 24 (obdobu zvedacích čepů), není na čelech s deformačními prvky vhodné místo, tudíž je vhodné tato nakolejovací místa vyřešit použitím protiskluzového plechu.



Obr. 27: Znáznornění polohy zvedacích a nakolejovacích míst na navrhovaném rámu.

4.4.4 Provedení skříně

Zatímco u kapotových lokomotiv zpravidla samotné kapoty netvoří spolunosnou funkci a veškerému zatížení musí odolávat dostatečně dimenzovaný hlavní rám, u skříňových lokomotiv zvyšuje tuhost rovněž konstrukce bočnic, resp. celé skříně. V pevnostních výpočtech tudíž není uvažován jen samotný rám, nýbrž i konstrukce bočnic, přepážek a v některých případech i kabin a střechy. U posledních dvou uvedených to však záleží na konkrétním provedení, neboť střechy se často konstruují jako odlehčené (např. hliníkové) a odnímatelné pro snadný přístup k vybavení strojovny a na zvýšení tuhosti skříně se prakticky nepodílí. Kabiny se dříve často montovaly jako samostatný celek, který byl na hlavním rámu upevněn prostřednictvím silentbloků a na spolunosnosti rámu se rovněž nikterak nepodílel. Výše popsáný případ přesně vystihují lokomotivy řady 750, 753 a 754 z produkce ČKD, viz obr. 28 na další straně.



*Obr. 28: Pohled na hlavní rám a bočnice lokomotivy řady 753.754 během zásadní modernizace.
Autor: PhDr. Zbyněk Zlinský [32].*

Dnes je však situace odlišná v tom, že kabiny musí splňovat crashovou odolnost. Vysoká tuhost tedy bývá zaručena tím, že hrubá stavba kabiny (s výjimkou deformačních zón) tvoří s rámem a bočnicemi jeden svařený celek, jak lze vidět např. u lokomotivy PESA Gama na obr. 7 z úvodní rešerše. Podobný případ představuje lokomotiva Stadler UKLight, jejíž skříň je zachycena na obr. 29. I zde tvoří příhradová bočnice s hlavním rámem a částí kabiny jeden tuhý celek.



Obr. 29: Skříň lokomotivy Stadler UKLight (Class 68). Autor: Railway Gazette [33].

Pro úplnost je třeba uvést řešení používané společností Siemens u lokomotiv Vectron. Bočnice je zde provedena jako odlehčený svařenec, tvořený horní vaznicí skříňového průřezu, svislými sloupky, vodorovnými výztuhami a přivařeným krycím plechem, viz obr. 30. Střecha strojovny je vyrobena z hliníkových profilů a krycích plechů a je odnímatelná. Kabina se skládá ze dvou částí. Tuhá část je součástí skříňe a tvoří prostor pro přežití (oblast vstupních dveří do kabiny). K této části je upevněna vnější část čela, kterou je v případě nehody možné snadno vyměnit bez nutnosti zásahu do samotné skříňe (není-li nehodou rovněž poškozena). Popisované řešení je velmi názorně zachyceno na obr. 31.



Obr. 30: Stavba bočnice lokomotiv Vectron. Autor: RollingOnRails [34].



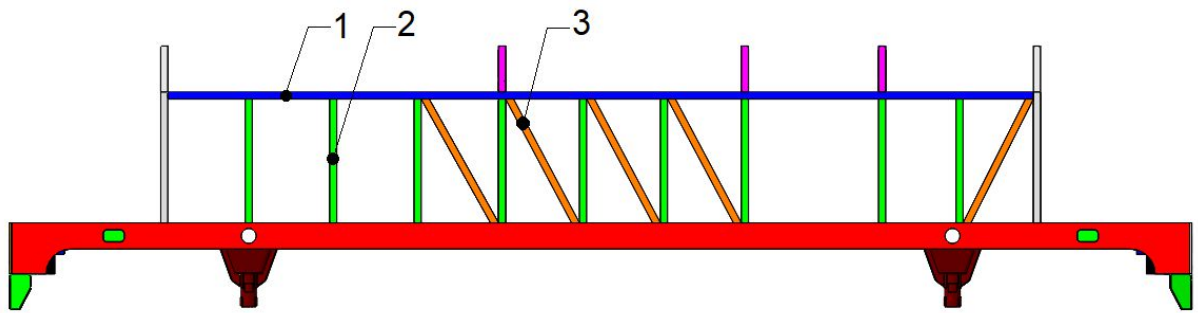
Obr. 31: Lokomotiva Vectron během montáže. Vlevo jsou viditelná samostatně montovaná čela kabiny, připravená k montáži ke skříni lokomotivy. Autor: Peider SwissTrip [35].

Každé z výše popsaných řešení bočnic má své výhody i nevýhody. V případě svařované bočnice u lokomotiv Vectron nebo TRAXX je nespornou výhodou možnost výroby bočnice nezávisle na zbytku skříňe na odděleném pracovišti. Připravená svařená bočnice se poté pouze uchytí k hlavnímu rámu, což je časově méně náročné, než přivařování jednotlivých profilů příhradové konstrukce. Nevýhodou je naopak nutnost velkého množství svarů, čímž dochází ke značnému tepelnému ovlivnění materiálu krycího plechu. Tím vznikají viditelné deformace, které je nutné vyrovnat, aby bočnice nepůsobila zvlněným dojmem.

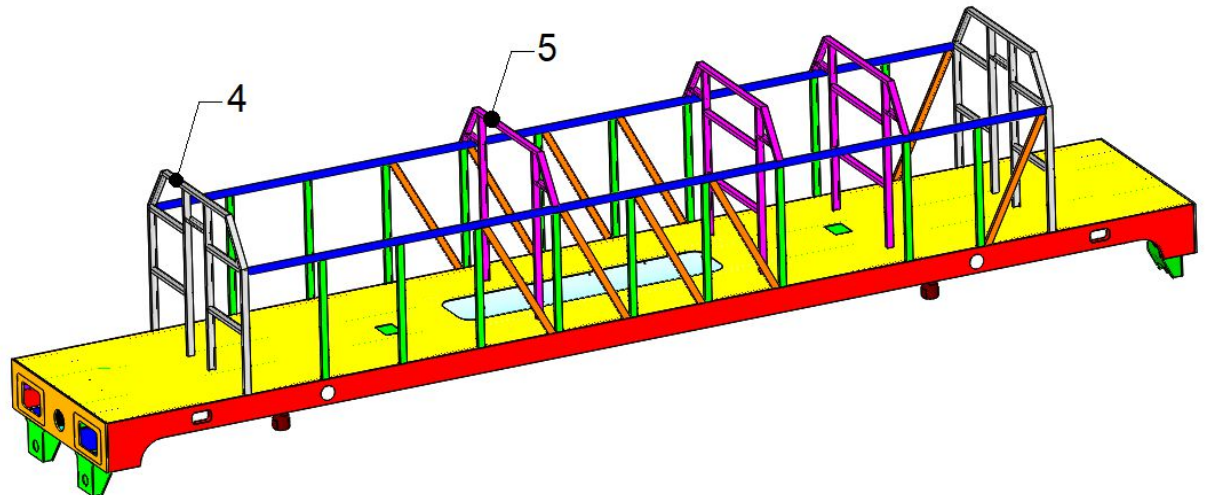
Tento problém odpadá při kombinaci příhradové konstrukce s lepenými, příp. šroubovanými krycími panely, viz např. bočnice lokomotiv Siemens Eurorunner, PESA Gama, CZ LOKO 753.6 a další. Technologie lepení je v dnešní době ve stavbě dopravních prostředků velmi rozšířena, zvláště v případech nehomogenních spojů – typicky laminátové obložení na ocelové kostře, lepení oken do ocelových rámu atd. Pro uchycení rozměrných bočních panelů, které mohou být pro úsporu hmotnosti vyrobeny z hliníkových plechů, se tedy lepení k příhradové konstrukci jeví jako velmi vhodné. Určitou nevýhodou technologie lepení může být citlivost kvality lepeného spoje na dodržení výrobcem předepsaného postupu lepení. Nedodržením těchto postupů může být pevnost spoje výrazně snížena.

Vzhledem k technologickým a výrobním možnostem společnosti CZ LOKO je pro navrhovanou lokomotivu doporučováno provedení bočnic příhradovou konstrukcí s lepenými, příp. šroubovanými krycími panely. Důvodem je zejména snaha vyhnout se problematickému vyrovnávání rozměrného plechu po tepelném ovlivnění a dále již získané zkušenosti s tímto řešením u lokomotiv řady 753.6. Výhodou je také možnost použití standardizovaných profilů k výrobě příhradové konstrukce.

Pro pevnostní výpočet hlavního rámu je nezbytné uvažovat alespoň s přibližným uspořádáním bočnic, neboť se u skříňových lokomotiv podílí na celkové pevnosti skříňe. Na obr. 32 a obr. 33 je zobrazeno přibližné uspořádání příhradové konstrukce, zohledňující polohu příček ve strojovně a mezistěn ke kabinám. Modrou barvou je zobrazena střešní vaznice skříňového průřezu o rozměrech 100 x 60 x 5 mm (1). Zelenou barvou jsou znázorněny svislé sloupky tvořené válcovanými profily U 100 (2). Šikmé výztuhy, tvořené shodnými U-profilů, jsou zobrazeny oranžovou barvou (3). Příčky mezi kabinou a strojovnou jsou šedé (4) a příčky mezi jednotlivými sekcemi strojovny fialové (5). Nutno podotknout, že šikmé výztuhy nejsou umístěny v místech, kde lze počítat s umístěním separátorů a žaluzií pro průchod chladicího vzduchu do strojovny. S ohledem na neznámé rozměry těchto separátorů nejsou v daném místě umístěny žádné výztuhy (pevnostně nejméně příznivá varianta), nicméně po případném upřesnění rozměrů se předpokládá jejich doplnění. Rovněž provedení kostry příček je zde spíše orientační a jeho účelem je zejména naznačit přibližné rozmístění příček ve strojovně. Příčka mezi sekcí el. výstroje a spalovacím motorem musí být navíc reálně provedena jako rozebíratelná, aby bylo možné vyvazovat celý motorgenerátor.



Obr. 32: Boční pohled na uspořádání příhradové konstrukce.



Obr. 33: Celkový pohled na navrhované uspořádání hlavního rámu s příhradovou konstrukcí bočnic.

Detailní provedení skříňe včetně hlavních rozměrů a příčných řezů se zřetelem na použité tloušťky plechů je zobrazeno na výkresu v příloze. **Zbývá doplnit velmi důležitou informaci o hmotnosti celé navržené konstrukce, která dle 3D modelu činí 13200 kg (bez hmotnosti svarů). Limitní hodnota 17 tun je tedy s rezervou 3,8 t dodržena.**

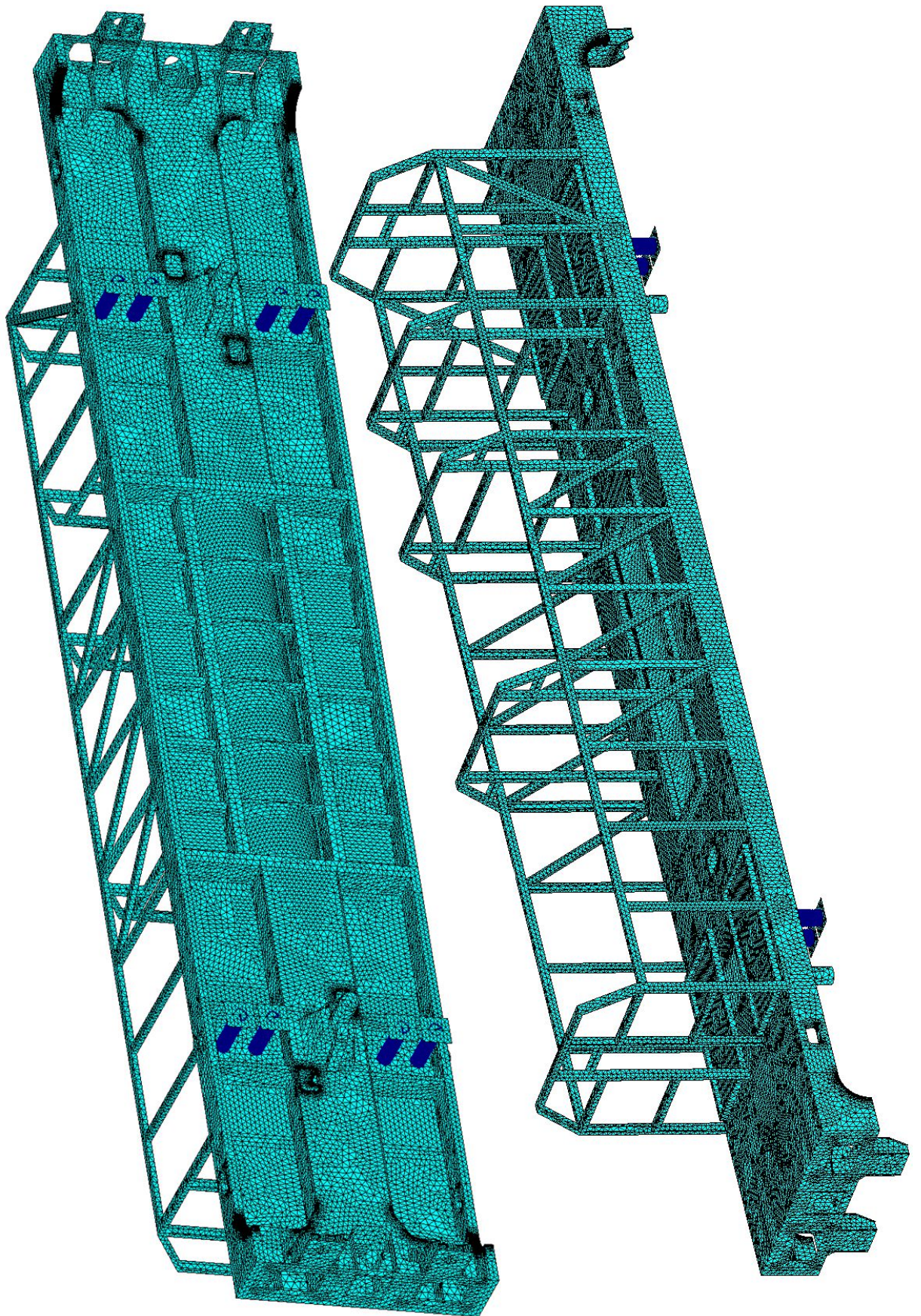
5 PEVNOSTNÍ OVĚŘENÍ NAVRŽENÉ KONSTRUKCE

Správnost výše popisovaného návrhu hlavního rámu je nutné ověřit pomocí pevnostních výpočtů metodou konečných prvků (MKP). Princip této metody zde nebude popisován, neboť jej lze snadno dohledat v literatuře. Pevnostní analýzy byly provedeny pomocí programu SolidWorks 2014, v němž byl vytvořen rovněž 3D model rámu.

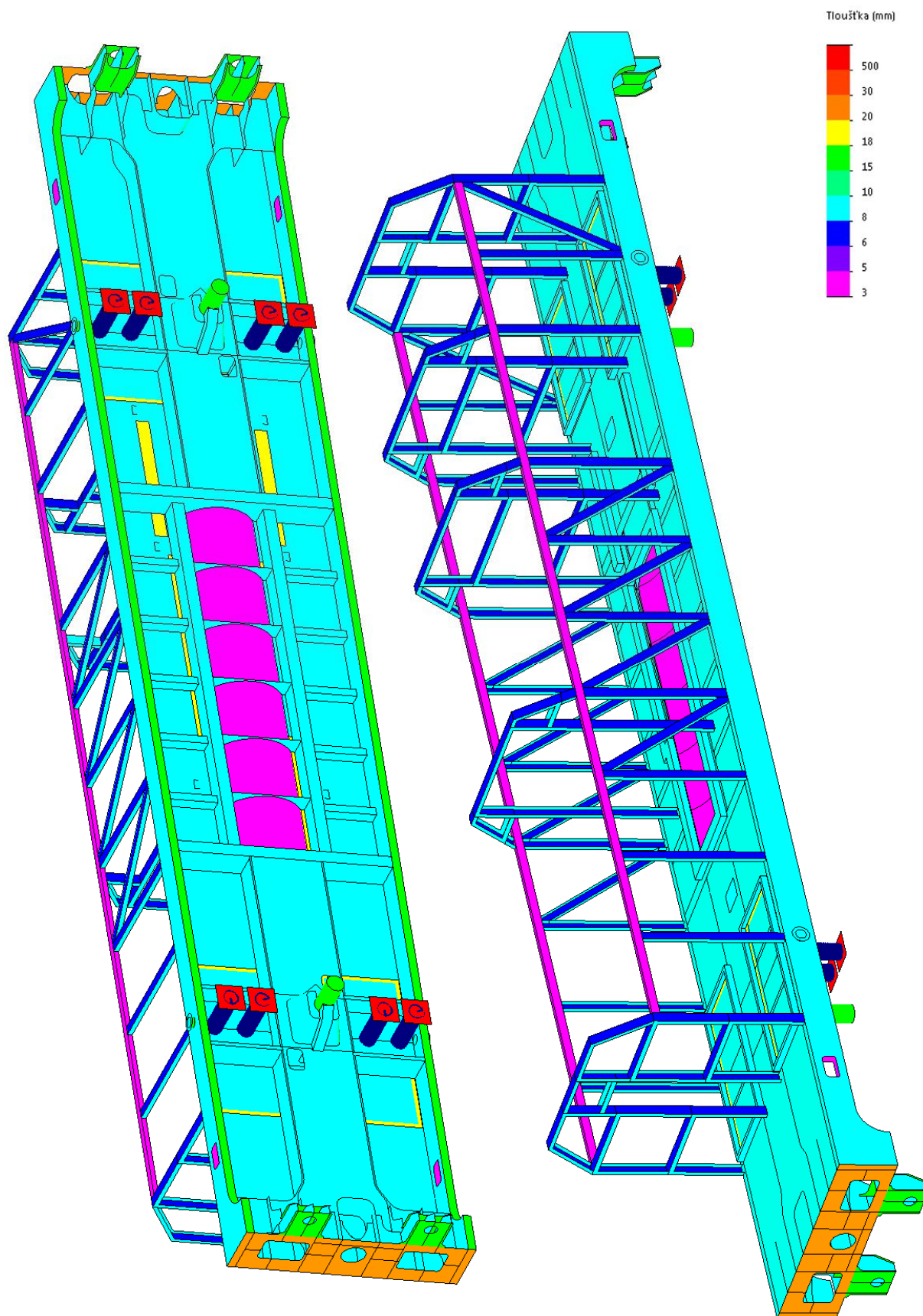
5.1 Popis výpočtového modelu

Přestože základní nosné prvky rámu jsou symetrické, je nutné pevnostně analyzovat celý rám, nikoliv jen jeho polovinu, příp. čtvrtinu, neboť zatížení rámu nelze považovat za symetrické. Běžnou praxí u tohoto typu modelu je použití plošných tří- nebo čtyřuzlových skořepinových elementů. Síť modelu je vytvořena automatickým generátorem sítě s délkou hrany elementu dle zakřivení. Maximální délka hrany elementu je stanovena na 75 mm, minimální 25 mm. Na několika místech (typicky v zaoblených rozích) je navíc aplikováno zjemnění sítě s délkou hrany elementu 5 až 20 mm dle poloměru zakřivení. Celkový počet elementů je 110383 a počet uzlů 221270. Síť modelu je znázorněna na obr. 34. Tloušťky skořepinových elementů odpovídají navrženým tloušťkám plechů, tj. nejčastěji 10 až 15 mm u hlavních nosných prvků rámu, 30 mm u plechů čelníků a 3 mm u olejové vany pod spalovacím motorem. Válcované U-profily příhradové konstrukce mají shodně tloušťku stojiny 6 mm a přírub 8 mm. Znázornění použitých tloušťek skořepinových elementů je zobrazeno na obr. 35. Krycí panely/plechy bočnic nejsou vzhledem k neplnění nosné funkce součástí výpočtového modelu. Z důvodu koncepčního návrhu nejsou rovněž modelovány přesné úchyty vybavení. Zatížení od tohoto vybavení je vnášeno v místech předpokládaného umístění.

Model skříně je pro účely pevnostních výpočtů uložen na osmi pružinách se svislou tuhostí $5,66 \cdot 10^5$ N/m a příčnou a podélnou tuhostí shodně $2,29 \cdot 10^5$ N/m [36]. Pro každou pružinu je nastaveno tlakové předpětí 59 kN pro omezení statické deformace pružin pod vlastní tíhou rámu. Spodní konce těchto pružin jsou ukotveny do pomocných nosníků značné tloušťky 500 mm. Na tyto nosníky jsou aplikovány okrajové podmínky $x = y = z = 0$ mm (s výjimkou zatěžovacích stavů zvedání vozidla). Pružné uložení rámu je výhodné zejména z důvodu eliminace zvýšeného mechanického napětí v místech aplikace okrajových podmínek přímo na rámu. Uložení modelu včetně uvedených pružin je názorně vidět na obr. 34 a obr. 35. Na obrázcích výsledků pevnostních analýz však pro přehlednost není uložení zobrazeno.



Obr. 34: Síť výpočtového modelu včetně pružin II. vypružení a pomocných nosníků.



Obr. 35: Barevné znázornění tloušťky použitých skořepinových elementů.

5.2 Vlastnosti použitého materiálu

Plechý hlavního rámu jsou navrženy z materiálu S355J2+N dle EN 10025-2, což je nelegovaná konstrukční ocel s mezí kluzu 355 MPa (pro nejmenší rozsah tloušťky, viz tab. 14). Označení J2 vyjadřuje nárazovou práci 27 J při zkušební teplotě -20°C . Písmeno N v označení materiálu znamená normalizační žhání nebo válcování [37].

Vzhledem k tomu, že tloušťky všech plechů s výjimkou čelníků nepřesahují 15 mm, je pro celý model rámu jednotně použita hodnota meze kluzu 355 MPa. Pevnost v tahu je pro jmenovitou tloušťku do 100 mm (včetně) udávána v rozmezí 470 až 630 MPa. Hustota oceli je 7850 kg/m^3 .

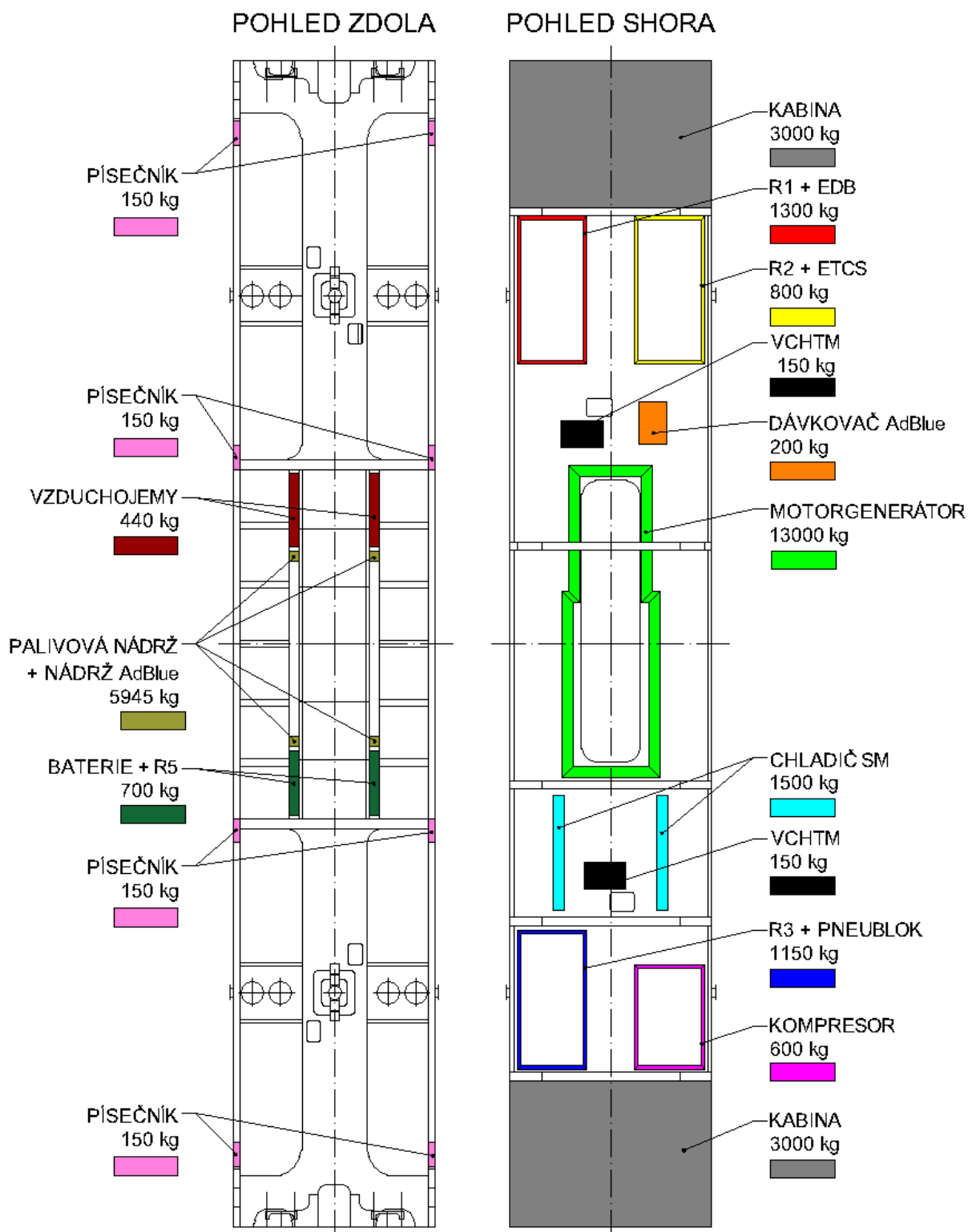
Tab. 14: Minimální mez kluzu dle tloušťky výrobku [37].

| Jmenovitá tloušťka [mm] | $t \leq 16$ | $16 < t \leq 40$ |
|----------------------------|-------------|------------------|
| Min. mez kluzu R_e [MPa] | 355 | 345 |

5.3 Zatížení rámu

Pevnostní analýzy zahrnují zatížení tíhovou silou od prvků umístěných na hlavním rámu nebo zavěšených pod ním. Z toho důvodu bylo nezbytné úvodní stanovení polohy prvků trakční výzbroje a pomocných pohonů ve strojovně. Jelikož nejsou detailně řešeny úchyty tohoto vybavení, zatížení je na rám vnášeno formou spojitých zatížení, příp. osamělých sil a ohybových momentů v místech předpokládaného umístění komponent. Za tím účelem byly na základní konstrukci rámu modelovány podpůrné konstrukce z U-profilů, příp. uzavřených obdélníkových profilů, na jejichž horní plochy byly vnášeny příslušné tíhové síly. Další zatížení, např. od písečníků, vzduchojemů atd., byla vnášena přímo na plochy rámu v místech jejich předpokládaného uchycení.

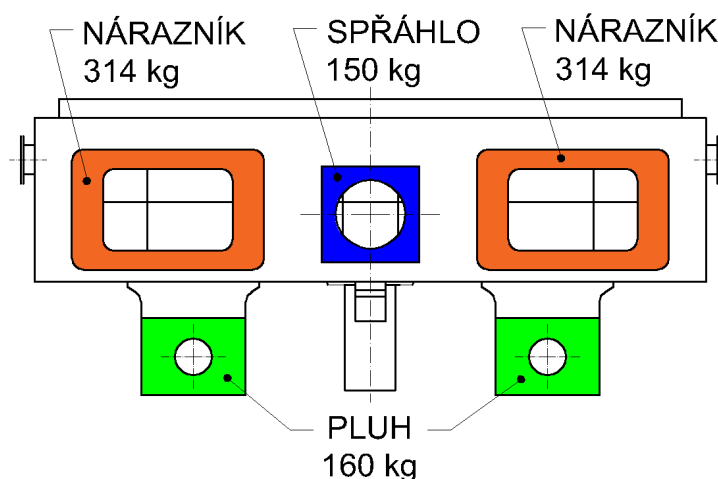
Veškerá zatížení, která jsou v pevnostních výpočtech uvažována, jsou uvedena v tab. 13 na str. 52, proto je zbytečné je zde znovu uvádět. Jediným rozdílem je sloučení hmotností těchto prvků: rozvaděč R3 + pneublok, rozvaděč R2 + ETCS, rozvaděč R1 + EDB. Toto sloučení znamená, že např. rozvaděč R3 je spolu s pneublokem umístěn na jednom společném podpůrném rámu, nikoliv na dvou samostatných. Místa vnášení zatížení včetně hmotností příslušných prvků jsou znázorněna na obr. 36. Je třeba doplnit, že na schématu není znázorněno zatížení od střechy (800 kg), které je rovnoměrně rozloženo na horní plochy vaznic a příček.



Obr. 36: Schematické znázornění zatížení rámu včetně hmotností jednotlivých prvků.

Zbývá doplnit zatížení čelní strany rámu, kde přímo na plech čelníku působí svislé zatížení a ohybový moment od tíhy nárazníků s deformačními elementy (314 kg jeden kus; těžiště ve vzdálenosti cca 600 mm od čelníku) a spráhla, resp. tažného háku se šroubovkou (150 kg; těžiště cca 80 mm od čelníku blíže ke středu lokomotivy). Dále je zde umístěn pluh (smetadlo

překážek), uchycený ke dvěma konzolám. Těžiště pluhu o hmotnosti 160 kg se nachází cca 100 mm vně od konzol. Přestože spřáhlo i nárazníky jsou k čelníku ve skutečnosti přišroubovány, v rámci zjednodušení výpočtového modelu je toto zatížení v pevnostních analýzách vnášeno na celé opěrné plochy, vyznačené barevně na obr. 37. K tomuto zjednodušení bylo přistoupeno z důvodu zanedbatelných svislých silových účinků od tíhy těchto prvků v porovnání s podélnými silami dle ČSN EN 12663-1, které již působí na celé opěrné plochy nárazníků nebo spřáhla.



Obr. 37: Schematické znázornění zatížení čelních partií rámu.

5.4 Výsledky statických pevnostních výpočtů

V této části jsou podrobněji analyzovány výsledky pevnostních výpočtů pro jednotlivé zatěžovací stavy dle ČSN EN 12663-1 (kategorie L) a ČSN EN 15227+A1, viz pevnostní požadavky, kap. 4.3. Pro každý stav jsou vypsána kritická místa s největším zjištěným napětím a přiloženy obrázky s rozložením redukovaného napětí dle hypotézy von Mises. Toto napětí je porovnáváno s dovoleným napětím, které je v tomto případě přímo rovno mezi kluzu materiálu (355 MPa). Bezpečnostní součinitel je totiž uvažován 1,0 dle bodu 5.4.2 v ČSN EN 12663-1, neboť nová konstrukce skříňe se musí následně ověřit pevnostními zkouškami. Provedené statické pevnostní analýzy jsou lineární. Ve výpočtech tedy není uvažována geometrická nelinearita ani pružně-plastické chování materiálu.

Ze zatížení, uvedených v ČSN EN 12663-1, nejsou uvažovány *tlakové síly na čelní stěně* (bod 6.2.3 v [30]), neboť tyto síly působí na konstrukci kabiny, která není předmětem této práce. Bez znalosti hrubé stavby kabiny není zřejmý přenos zatížení do dalších částí rámu. Dále nejsou předmětem pevnostních analýz *zatížení v místech uchycení vybavení* (6.5.2 v [30]), neboť úchyty vybavení nejsou v tomto koncepčním návrhu rámu řešeny.

5.4.1 Tlaková síla v místech uchycení nárazníků

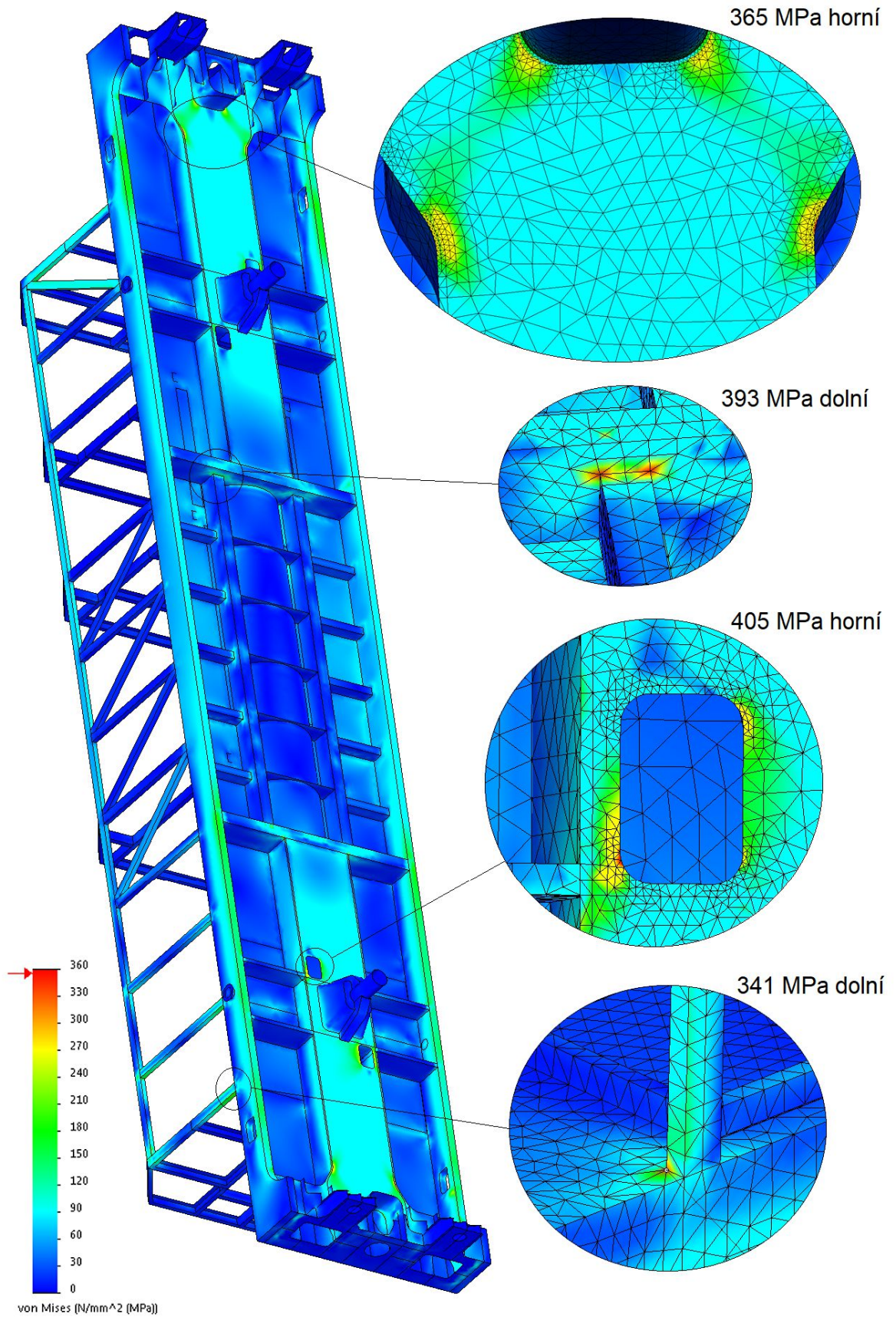
V ose nárazníků působí tlakové síly o velikosti 2000 kN (na každý nárazník působí poloviční hodnota). Současně působí svislé zatížení vyvolané hmotností m_I (konstrukční hmotnost skříňe) při tíhovém zrychlení $1 g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. Jak již bylo uvedeno, okrajové podmínky ($x = y = z = 0 \text{ mm}$) jsou aplikovány v místech pomocných nosníků na spodním konci II. vypružení.

Jelikož se osa nárazníků nachází pod střednicí podélníků, vzniká zde značný ohybový moment, který způsobuje zvýšené mechanické napětí v místech patních plechů podélníků, a to jak vnějších, tak středních. Nejvyšší zjištěné redukované napětí von Mises na horní ploše elementů se nachází v zaoblených rozích otvorů pro chladicí vzduch k TM, lokálně až 405 MPa. Zvýšené napětí je dále v místech rozšíření dolní pásnice hlavního podélníku – 365 MPa, a také v místech zaoblení poblíž svaru dolní pásnice hl. podélníku a krycího plechu spráhla – 229 MPa. Vyšší napětí bylo dále zjištěno v místě napojení podélníku motorgenerátoru ke střednímu příčnicku – 332 MPa. Na dolní pásnici vnějších podélníků je nejvyšší napětí v místě připojení středních příčniců – 187 MPa. Na příhradové konstrukci skříňe je nejvyšší napětí na vaznici střechy poblíž příčky kabiny – 266 MPa. V ostatních místech je napětí nižší.

Redukované napětí na dolní ploše má v zásadě obdobný průběh, pouze s mírně odlišnými maximálními hodnotami. Nejvyšší zjištěné napětí se nachází rovněž v zaoblených rozích otvorů pro chladicí vzduch k TM, shodně 405 MPa. Zvýšené napětí je dále v místech rozšíření dolní pásnice hlavního podélníku – 362 MPa, a také v místech zaoblení poblíž svaru dolní pásnice hl. podélníku a krycího plechu spráhla – 280 MPa. Překročení meze kluzu bylo zjištěno také v místě napojení podélníku motorgenerátoru ke střednímu příčnicku – 393 MPa. Na dolní pásnici vnějších podélníků je nejvyšší napětí v místě připojení středních příčniců – 180 MPa. Na příhradové konstrukci skříňe je nejvyšší napětí v místě připojení stojiny příčky kabiny k rámu – v jenom uzlu 341 MPa, a dále na vaznici střechy poblíž příčky kabiny – 247 MPa. V ostatních místech je napětí nižší.

Redukované napětí von Mises na horní ploše je znázorněno na obr. 38. Na detailech s odkazem na umístění jsou zobrazena místa nejvyšších zjištěných napětí s uvedenou maximální hodnotou a s rozlišením, zda se jedná o horní nebo dolní napětí.

Ve všech uvedených případech překročení meze kluzu se jedná o malé oblasti, vždy spojené s výraznou změnou geometrie. V případě připojení podélníku motorgenerátoru k střednímu příčnicku však překročení dovoleného napětí nelze považovat za přípustné. Navržená konstrukce je tedy pro tento zatěžovací stav **nevyhovující**.



Obr. 38: Rozložení redukovaného napětí při působení tlakové síly 2 MN na nárazníky.

5.4.2 Tlaková síla působící na uchycení nárazníků úhlopříčně

V ose nárazníků působí tlakové síly o velikosti 500 kN úhlopříčně. Současně působí svislé zatížení vyvolané hmotností m_l (konstrukční hmotnost skříně) při tíhovém zrychlení 1 g. Nejprve byly aplikovány shodné okrajové podmínky jako v předchozím případě, avšak zjištěný příčný posuv v místě sekundárního vypružení překročil hranici 20 mm, což je maximální vůle pro dosednutí otočného čepu na příčné narážky na hlavním příčniku podvozku. Je tedy nutné aplikovat okrajové podmínky pro příčný posuv přímo na otočné čepy, aby přenos sil mezi skříní a podvozkem odpovídal skutečnosti. K tomu je třeba v místech dosedacích ploch rámu na II. vypružení doplnit příčné síly, vzniklé při 20mm příčné deformaci flexi-coil pružin. Velikost těchto sil pro jednu pružinu je:

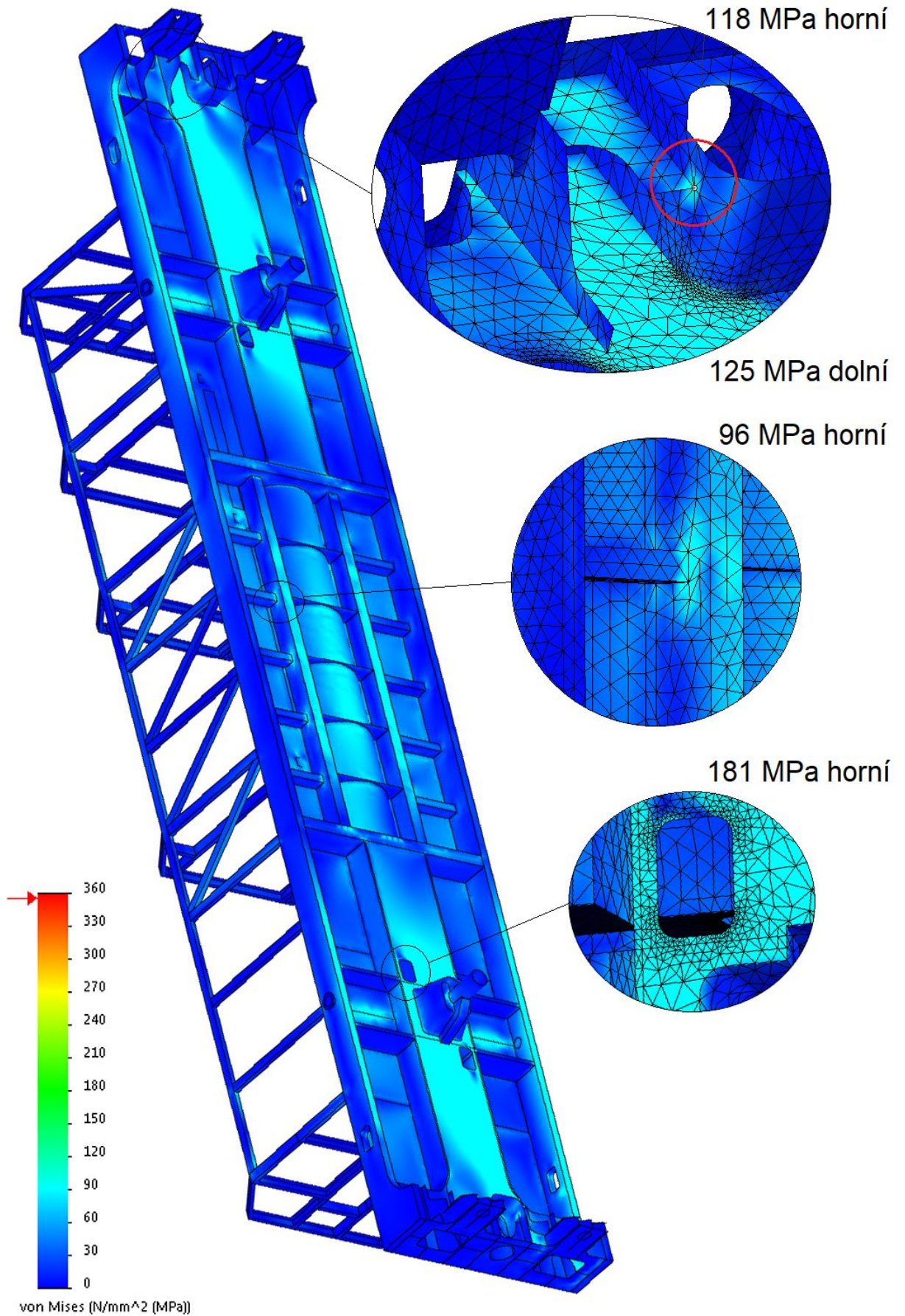
$$F_y = k_y \cdot y = 2,29 \cdot 10^5 \cdot 0,02 = 4580 \text{ N} = 4,58 \text{ kN} \quad (18)$$

Nejvyšší zjištěné redukované napětí na horní ploše se nachází v zaoblených rozích otvorů pro chladicí vzduch k TM – 181 MPa. Zvýšené napětí je dále v jednom uhlu v rohu vodorovné výztuhy konzoly pluhu – 118 MPa, a také v místech napojení podpůrných příčníků k podélníkům motorgenerátoru, nejvýše 96 MPa. Na dolní pásnici vnějších podélníků napětí nepřesahuje 78 MPa.

Nejvyšší redukované napětí na dolní ploše je opět v zaoblených rozích otvorů pro chladicí vzduch k TM – 177 MPa. Druhé nejvyšší napětí 125 MPa se nachází v místech zaoblení poblíž svaru dolní pásnice hl. podélníku a krycího plechu spráhla. Na žádném dalším místě rámu napětí nepřekračuje hodnotu 120 MPa.

Redukované napětí von Mises na horní ploše je znázorněno na obr. 39. Na detailech s odkazem na umístění jsou zobrazena místa nejvyšších zjištěných napětí s uvedenou maximální hodnotou a s rozlišením, zda se jedná o horní nebo dolní napětí.

Na žádném místě rámu nedochází k překročení dovoleného napětí. Pro tento zatěžovací stav navržená konstrukce **vyhovuje**.



Obr. 39: Rozložení redukovaného napětí při působení tlakové síly na nárazníky úhlopříčně.

5.4.3 Tahová síla na uchycení spřáhla

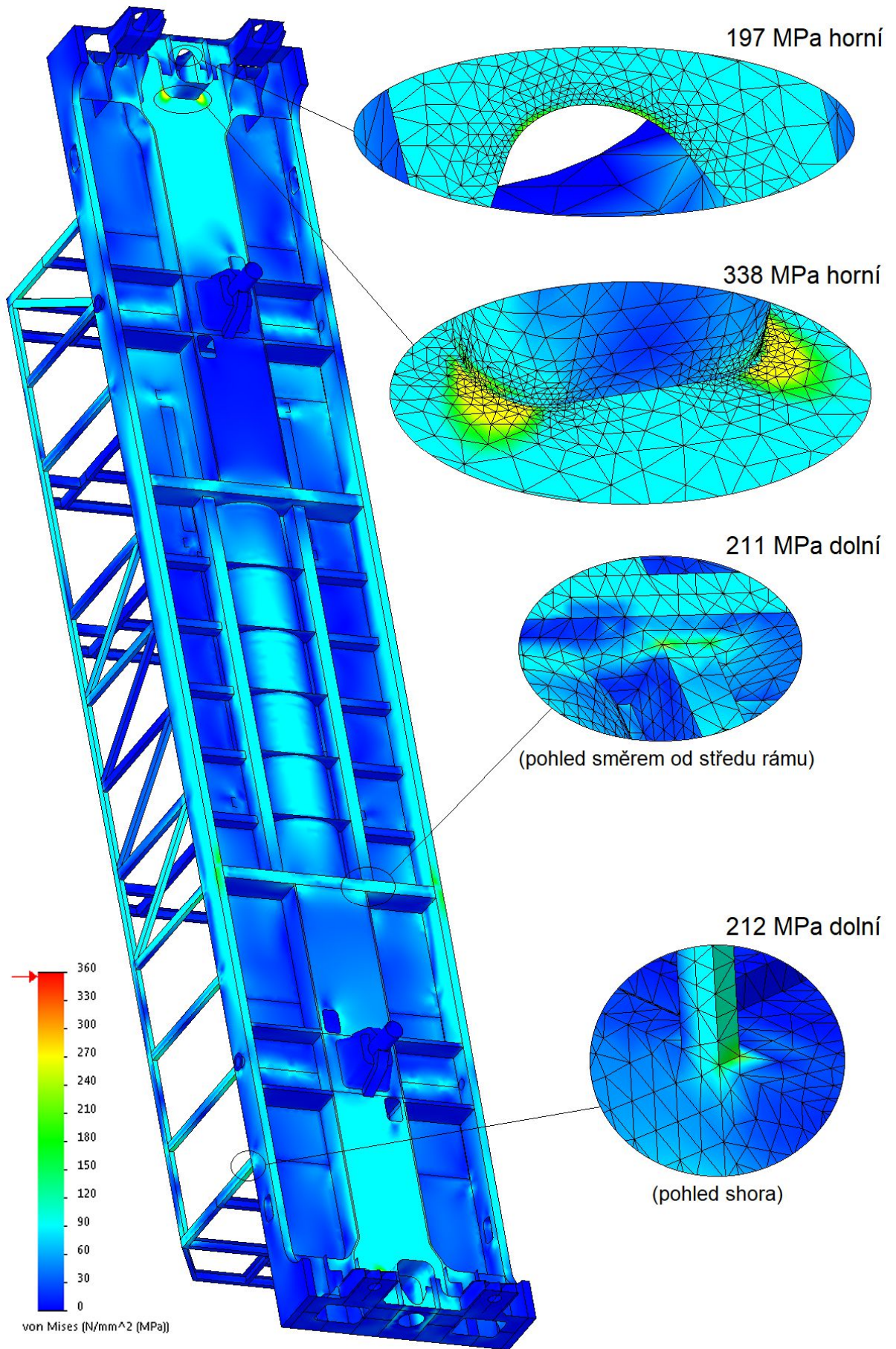
V místech uchycení spřáhla působí tahová síla o velikosti 1000 kN. Současně působí svislé zatížení vyvolané hmotností m_l (konstrukční hmotnost skříně) při tíhovém zrychlení 1 g. Okrajové podmínky jsou aplikovány shodně jako v případě 5.4.1.

Nejvyšší zjištěné redukované napětí na horní ploše se nachází v místech zaoblení poblíž svaru dolní pásnice hl. podélníku s krycím plechem spřáhla – 338 MPa. Zvýšené napětí se dále nachází v místě rozšíření dolní pásnice hlavního podélníku směrem k čelníku – 203 MPa, a v místě zaoblení vodorovné výztuhy pod spřáhlem – nejvýše 197 MPa. Na dolní pásnici vnějších podélníků je nejvyšší napětí 183 MPa poblíž místa připojení středního příčnicku. Na příhradové konstrukci skříně je nejvyšší napětí na vaznici střechy poblíž příčky kabiny – 196 MPa. V ostatních místech je napětí nižší.

Redukované napětí na dolní ploše má obdobný průběh. Nejvyšší napětí je opět v místech zaoblení poblíž svaru dolní pásnice hl. podélníku a krycího plechu spřáhla – 337 MPa. Zvýšené napětí se dále nachází v místě rozšíření dolní pásnice hlavního podélníku směrem k čelníku – 206 MPa; v místě zaoblení vodorovné výztuhy pod spřáhlem – nejvýše 200 MPa, a v místě připojení podélníku motorgenerátoru k střednímu příčnicku – 211 MPa. Na dolní pásnici vnějších podélníků je nejvyšší napětí 182 MPa poblíž místa připojení středního příčnicku. Na příhradové konstrukci skříně je nejvyšší napětí v místě připojení stojiny příčky kabiny k rámu – 212 MPa, a dále na vaznici střechy poblíž příčky kabiny – 181 MPa. V ostatních místech je napětí nižší.

Redukované napětí von Mises na horní ploše je znázorněno na obr. 53. Na detailech s odkazem na umístění jsou zobrazena místa nejvyšších zjištěných napětí s uvedenou maximální hodnotou a s rozlišením, zda se jedná o horní nebo dolní napětí.

Na žádném místě rámu nedochází k překročení dovoleného napětí. Pro tento zatěžovací stav navržená konstrukce **vyhovuje**.



Obr. 40: Rozložení redukovaného napětí při působení tahové síly na uchycení spřáhla.

5.4.4 Maximální provozní zatížení

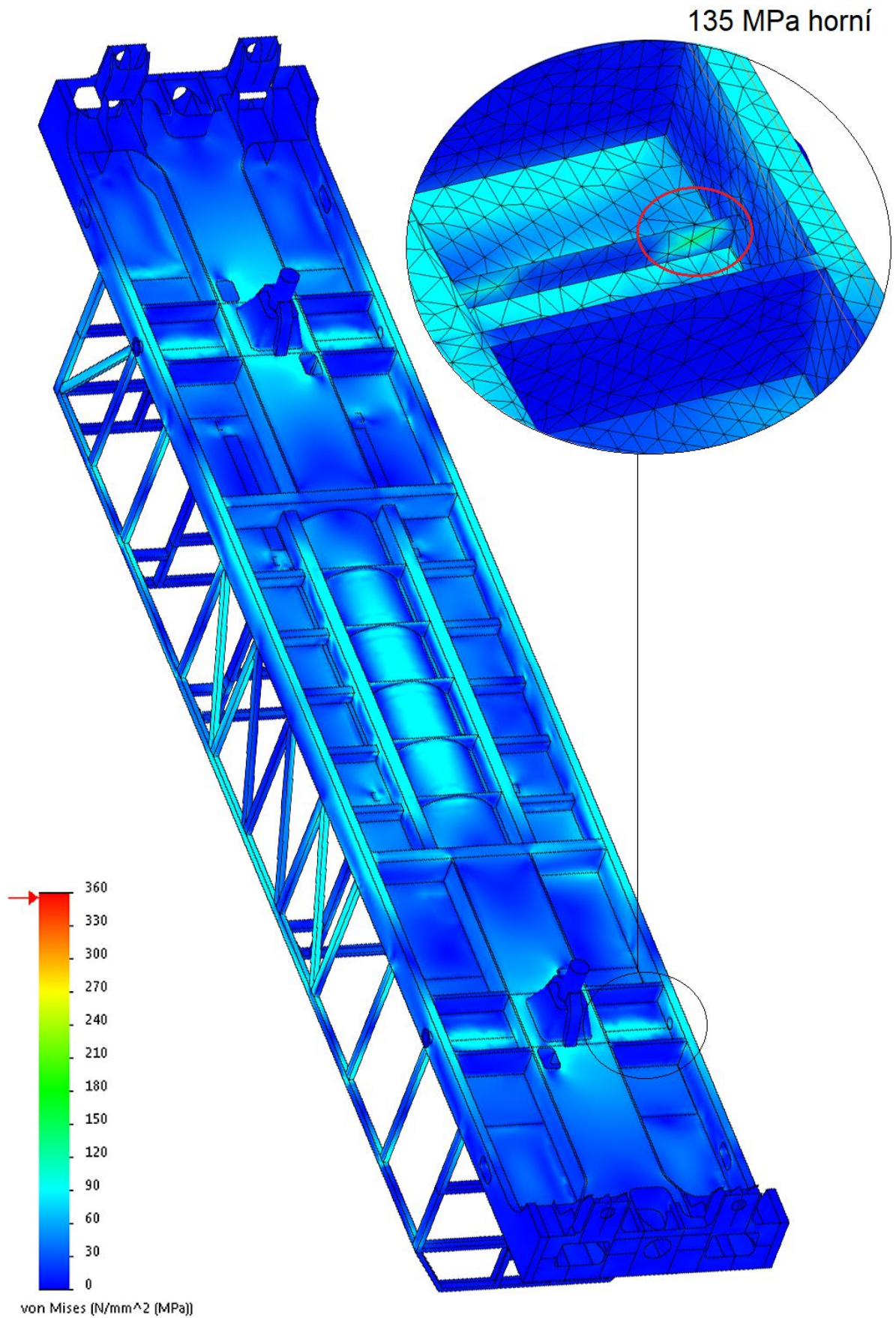
Hlavní rám je vystaven působení 1,3násobku tíhového zrychlení g , tzn. $1,3 \cdot g \cdot m_1$. Okrajové podmínky jsou aplikovány shodně jako v případě 5.4.1.

Nejvyšší zjištěné redukované napětí na horní ploše se nachází na výztužném plechu mezi horní plochou rámu a dosedací plochou II. vypružení – 135 MPa. Zvýšené napětí se nachází v místě připojení podpůrných příčnic k podélníku motorgenerátoru – 124 MPa, a na očekávaném místě v zaoblení otvoru pro chladicí vzduch k TM – 128 MPa. Zvýšené napětí se nachází i na několika místech příhradové konstrukce skříňe, nejvýše v jednom uzlu 123 MPa.

Redukované napětí na dolní ploše má obdobný průběh. Nejvyšší napětí je rovněž na výztužném plechu mezi horní plochou rámu a dosedací plochou II. vypružení – shodně 135 MPa. Zvýšené napětí se nachází rovněž v místě připojení podpůrných příčnic k podélníku motorgenerátoru – 120 MPa, a v místě zaoblení otvoru pro vzduch k TM – shodně 128 MPa. Na dalších místech rámu je napětí nižší.

Redukované napětí von Mises na horní ploše je znázorněno na obr. 41. Na detailu s odkazem na umístění je zobrazeno místo s nejvyšším zjištěným napětím se skrytou dosedací plochou pro II. vypružení, pod níž se ve skutečnosti nachází.

Na žádném místě rámu nedochází k překročení dovoleného napětí. Pro tento zatěžovací stav navržená konstrukce **vyhovuje**.



Obr. 41: Rozložení redukovaného napětí při svislém zatížení 1,3 g.

5.4.5 Zdvihání a zvedání ve stanovených místech na jednom konci vozidla

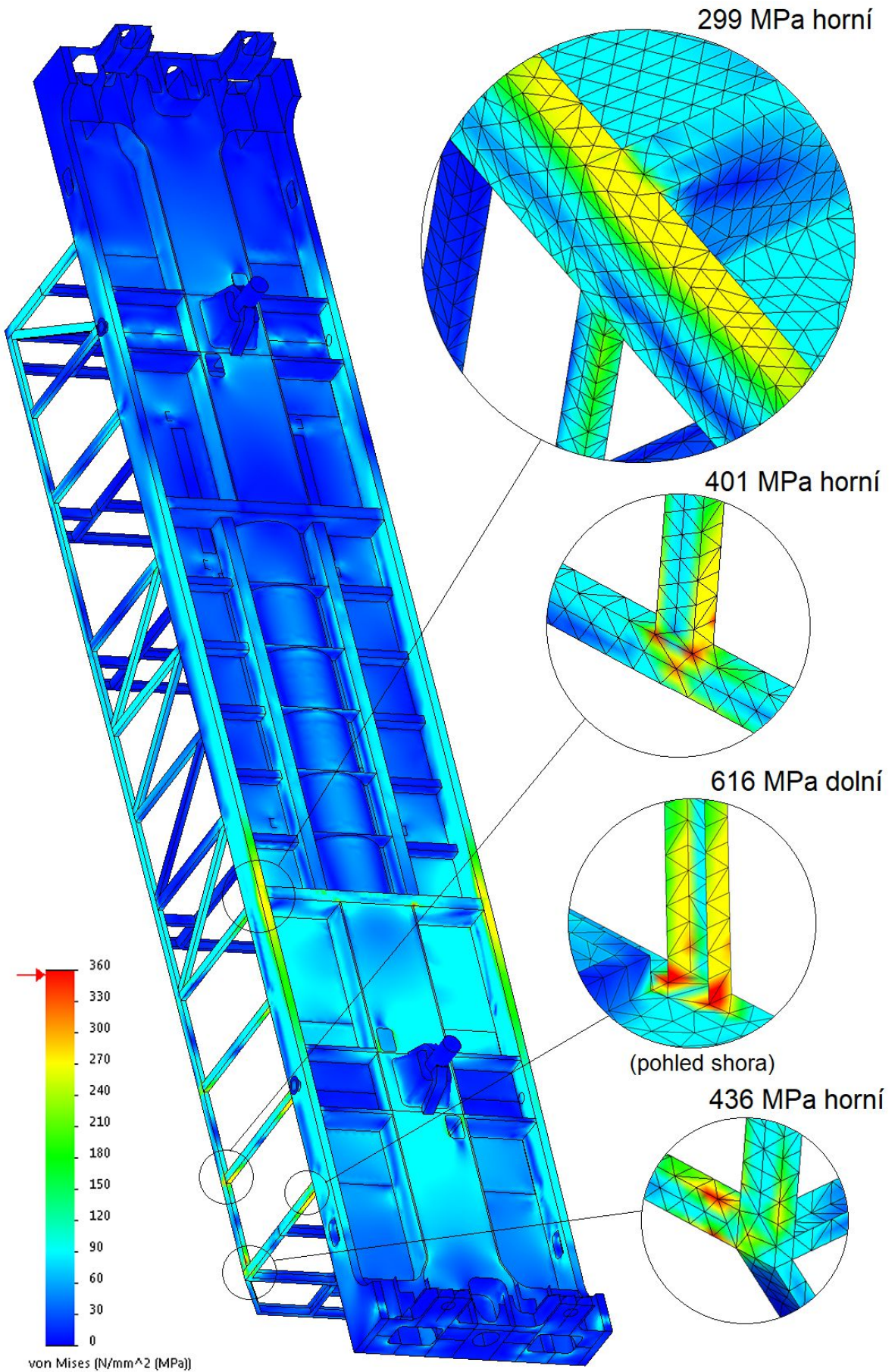
Vozidlo je zvedáno na jednom konci za zvedací místa u čelníku, zatímco druhý konec vozidla zůstává v běžné provozní poloze. Tíha skříňe a jednoho podvozku je zvýšena o 10 %, tj. $1,1 \cdot g \cdot (m_1 + m_2)$. Okrajové podmínky jsou aplikovány na zvedacích místech u čelníků na spodní ploše vnějších podélníků, konkrétně na příčně orientovaných hranách uprostřed vodorovných ploch ($z = 0$ mm). Důvodem pro aplikaci okr. podmínek pouze na příčně orientované hrany a nikoliv na celé dosedací plochy spočívá v tom, že okolo těchto hran se rám může přirozeně natáčet. Na opačném konci vozidla jsou okr. podmínky v bodech uprostřed dosedacích ploch II. vypružení, kde je zamezeno posuvům ve všech směrech $x = y = z = 0$ mm.

Nejvyšší redukované napětí von Mises na horní ploše má hodnotu 436 MPa a nachází se na vaznici střechy u mezistěny kabiny, a to na straně, kde dochází ke zvedání. V místě připojení druhého svislého sloupku příhradové konstrukce k vaznici střechy dosahuje napětí hodnoty 401 MPa. Celkově dochází na svislých sloupcích k překročení dovoleného napětí zejména v horní a dolní části v místech připojení k vaznici střechy/horní ploše rámu. Na samotném rámu je dovolené napětí překročeno v jednom uzlu v místě připojení dolní pásnice hl. podélníku ke střednímu příčnicku – 406 MPa. Vyšší napětí se dále nachází na dolní pásnici vnějších podélníků v místě připojení středního příčnicku – nejvýše 299 MPa, a také v místě napojení podélníku motorgenerátoru k střednímu příčnicku – 305 MPa. Na obvyklém místě v zaoblených rozích otvorů pro chladicí vzduch k TM je nejvyšší napětí 289 MPa.

Nejvyšší redukované napětí na dolní ploše má hodnotu až 616 MPa a nachází se v místě napojení svislého sloupku mezistěny kabiny k horní ploše rámu. K překročení dovoleného napětí dochází u prvních i druhých sloupců směrem od zvedaného konce rámu, vždy v místě napojení k horní ploše rámu a k vaznici střechy. U třetího sloupku již k překročení dovoleného napětí nedochází. Na vaznici střechy je nejvyšší napětí poblíž mezistěny kabiny, nejvýše 408 MPa. Na rámu je nejvyšší napětí v místě napojení podélníku motorgenerátoru k střednímu příčnicku – 367 MPa. Na dolní ploše vnějších podélníků napětí nepřesahuje hodnotu 281 MPa.

K největšímu průhybu rámu dochází v místě napojení středního příčnicku na vnější podélníky. Průhyb zde dosahuje hodnoty 48 mm.

Redukované napětí von Mises na horní ploše je znázorněno na obr. 42. Celkově dochází k výraznému překročení dovoleného napětí na několika místech skříňe, zejména na příhradové konstrukci bočnic. Nedostatečná tuhost rámu způsobuje značné namáhání vnějších podélníků v místech připojení středních příčníků, což potvrzuje i výrazný průhyb v těchto místech. Pro tento zatěžovací stav navržená konstrukce **nevyhovuje**.



Obr. 42: Rozložení redukovaného napětí při zvedání za jeden konec vozidla.

5.4.6 Zdvihání a zvedání na jednom konci vozidla – zesílená varianta

Po neúspěšné předchozí analýze bylo ověřováno zvedání vozidla za opačný konec, a to s výrazně pozitivnějšími výsledky. Důvodem rozdílných výsledků při jinak symetrickém uspořádání rámu jsou šikmé výztuhy, které jsou v původním návrhu umístěny pouze u jednoho konce skříně (z důvodu uvažovaných separátorů na druhém konci, viz popis skříně). Pro zlepšení nevyhovujícího stavu byla tedy původní příhradová konstrukce bočnic doplněna o dvě šikmé výztuhy v každé bočnici v sekci elektrické výzbroje. Třetí výztuha již záměrně aplikována nebyla, neboť zde velmi pravděpodobně budou muset být umístěny separátory pro chlazení trakčního alternátoru. Takto vyztužená konstrukce byla podrobena shodnému zatížení, jako v předchozím případě, tj. zvedání za stejný konec vozidla při stejných okrajových podmínkách.

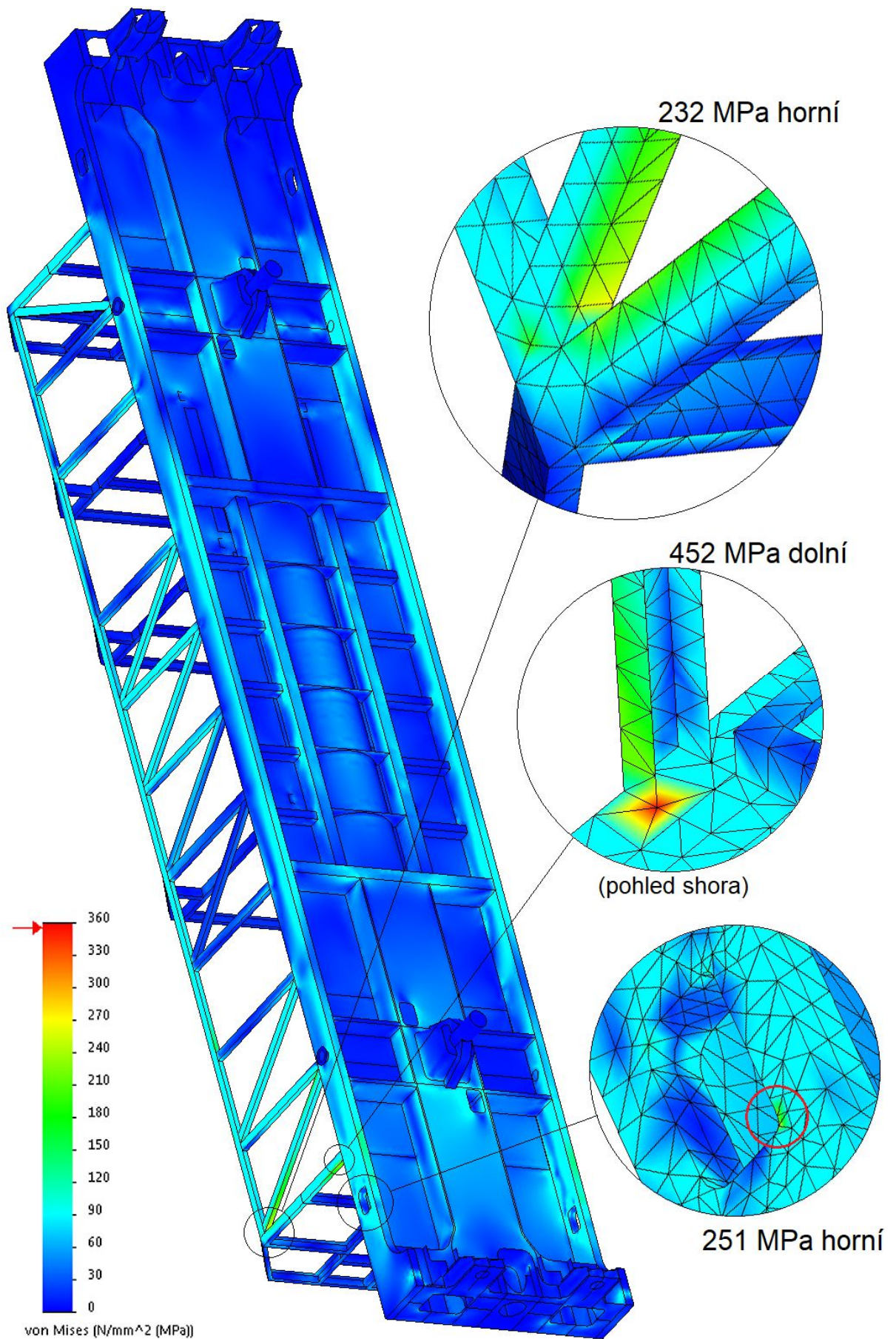
Nejvyšší redukované napětí na horní ploše má hodnotu 251 MPa a nachází se v rohu otvoru pro schod ve vnějším podélníku. Na příhradové konstrukci bočnic je nejvyšší napětí v místě napojení šikmé výztuhy k vaznici střechy nejbližší u mezistěny kabiny – 232 MPa. Na dalších místech konstrukce je napětí nižší. Na spodní pásnici vnějších podélníků je napětí nejvýše 144 MPa (vs. 299 MPa u původní varianty). Celkově tedy nikde nedochází k překročení dovoleného napětí.

Na dolní ploše je nejvyšší redukované napětí v místě napojení svislého sloupku mezistěny kabiny k horní ploše rámu – 452 MPa (vs. 616 MPa). Na žádném dalším místě k překročení dovoleného napětí nedochází a průběh napětí je obdobný jako na horní ploše elementů.

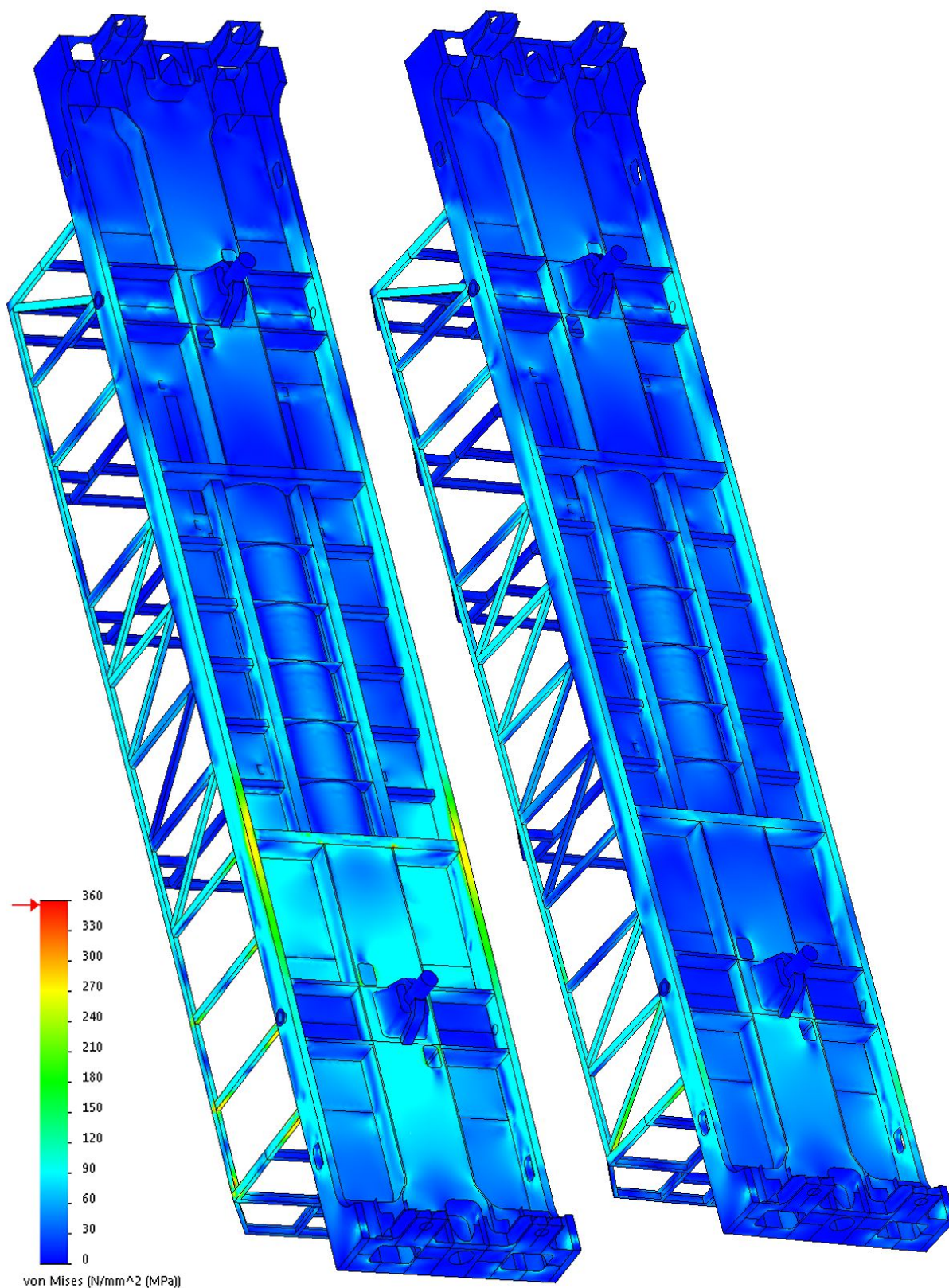
Rozdíl je znatelný také u maximálního zjištěného průhybu, který na vnějších podélnících dosahuje nejvyšší hodnoty 22 mm, což je méně než polovina oproti původní variantě.

Redukované napětí von Mises na horní ploše je znázorněno na obr. 43. Porovnání původní a zesílené varianty je na obr. 44. Je zcela zřejmé, že navržené opatření významně pomohlo snížit redukované napětí v konstrukci. K překročení dovoleného napětí dochází pouze v jednom uzlu na ploše dolní. Na horní ploše k překročení dov. napětí nedochází. Pro tento zatěžovací stav navržená konstrukce s doplněnými šikmými výztuhami příhradové konstrukce bočnic **vyhovuje**.

Pro doplnění – hmotnost jedné výztuhy z válcovaného profilu U100 je přibližně 20 kg, tudíž celkový nárůst hmotnosti při doplnění čtyř těchto výztuh je cca 80 kg. Při případné realizaci navržené konstrukce by bylo vhodné analyzovat také variantu s uzavřenými profily místo otevřených U-profilů a dále ověřit vliv doplněných výztuh i na ostatní zatěžovací stavy. Je možné, že by takto zvýšená tuhost mohla umožnit zeslabení některých prvků rámu, např. spodních pásnic vnějších podélníků.



Obr. 43: Rozložení redukovaného napětí při zvedání za jeden konec vozidla – zesílená varianta.

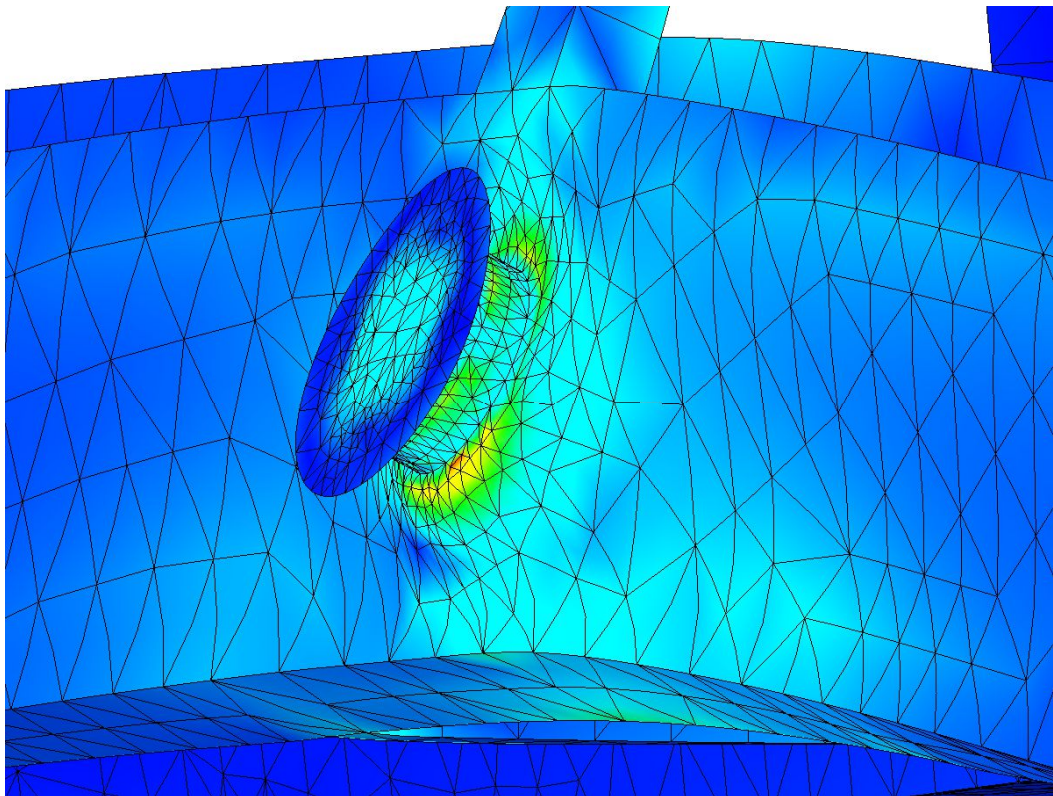


Obr. 44: Rozložení redukovaného napětí při zvedání za jeden konec vozidla – vlevo původní a vpravo zesílená varianta.

5.4.7 Zdvihání a zvedání celého vozidla na stanovených místech

Vozidlo včetně podvozků je zvedáno za zvedací místa (čepy) na hlavním rámu. Celková tíha vozidla je zvýšena o 10 % – $1,1 \cdot g \cdot (m_1 + 2 \cdot m_2)$. Okrajové podmínky jsou aplikovány v místech zvedacích čepů, kde je zamezeno svislým posuvům ($z = 0$ mm) a u dvou čepů naproti sobě též podélným posuvům ($x = 0$ mm). Tím je zajištěna statická určitost. Pro stabilizaci výpočtu jsou dále aplikovány doplňující okrajové podmínky v místech otočných čepů, kde je zamezeno příčným posuvům ($y = 0$ mm). Pokud by tyto příčné posuvy byly zakázány rovněž v místech zvedacích čepů, bylo by zabráněno přirozenému průhybu konstrukce a tím vneseno nežádoucí přídavné napětí. Je třeba doplnit, že dle bodu 6.3.4 *Nakolejování a vyprošťování* v ČSN EN 12663-1 [30] se pro zdvihací/zvedací konzoly a jejich okolí musí použít přídavný bezpečnostní součinitel 1,5. Dovolené napětí tedy pro tento případ klesne z 355 na 236,6 MPa.

Kritickými místy při tomto zatížení jsou okolí zvedacích čepů a svar mezi čepem a stojinou vnějších podélníků. Maximální redukované napětí von Mises na horní ploše bylo zjištěno dle očekávání ve spojení trubky zvedací konzoly se stojinou vnějšího podélníku, až 364 MPa. Je zřejmé, že nemá význam dále popisovat ostatní místa skříňe, neboť u zvedacího čepu dochází k výraznému překročení dovoleného napětí. Tento způsob provedení zvedacích míst tedy pevnostně **nevyhovuje**.



Obr. 45: Pohled na zvedací čep s 150krát zvětšeným měřítkem deformace.

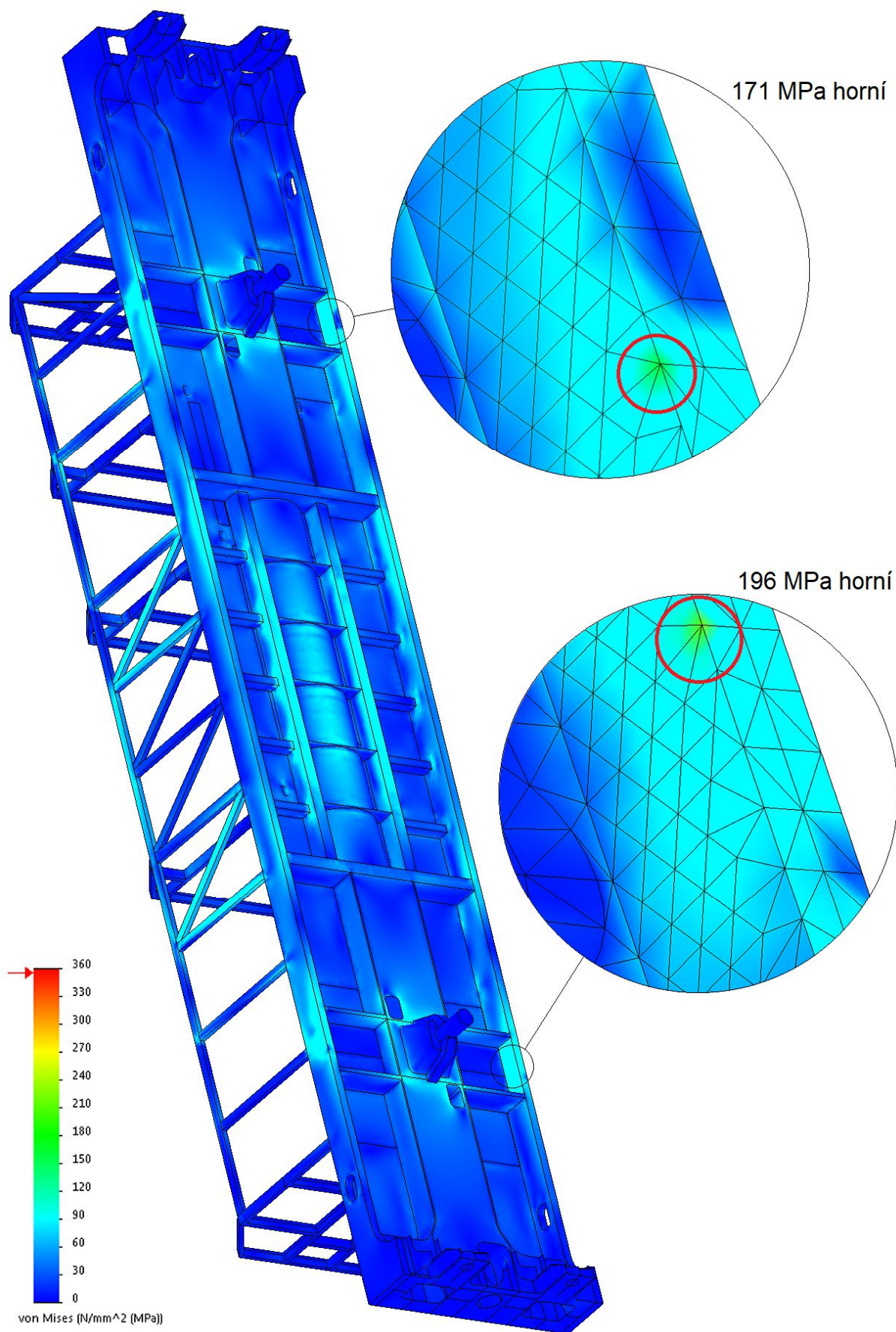
Na obr. 45 se 150krát zvětšeným měřítkem deformace je zcela názorně vidět, k jakému procesu dochází při zvedání za navržené čepy. Plech stojiny tloušťky 10 mm není schopen přenést extrémní zatížení a v části nad trubkou je vtlačován směrem dovnitř, zatímco pod trubkou je vytlačován ven.

Na základě této analýzy tedy bylo přistoupeno k opuštění myšlenky zvedacích čepů. Zvedací místa budou nově řešena obdobným způsobem, jako např. u lokomotiv Vectron. Skříň lokomotivy bude zvedána přímo za spodní pásnici vnějších podélníků v úrovni otočných čepů a daná místa budou opatřena protiskluzovým lískovým plechem. Takto upravený model s odstraněnými zvedacími čepy byl podroben shodným pevnostním analýzám s upravenými okrajovými podmínkami. Svislé posuvy ($z = 0$ mm) jsou zakázány na čtyřech 300 mm dlouhých plochách pásnic vnějších podélníků. Na dvě tyto plochy u stejného otočného čepu jsou dále aplikovány okr. podmínky v podélném směru ($x = 0$ mm). Příčné posuvy jsou zakázány shodně na otočných čepech.

Nejvyšší redukované napětí von Mises na horní ploše se nachází na hranách ploch pro zvedání směrem ke středu lokomotivy, nejvýše 196 MPa v jednom uzlu. To je dáno aplikací okr. podmínek, neboť rám má tendenci se v daném místě prohýbat směrem ke středu skříňě (těžišti). Na dalších místech rámu napětí nepřesahuje 140 MPa.

Redukované napětí na dolní ploše má obdobný průběh. Nejvyšší napětí dosahuje hodnoty 172 MPa ve stejném místě, jako na horní ploše. Na ostatních místech rámu, včetně ploch pro zvedání, je napětí nižší.

Redukované napětí von Mises na horní ploše je znázorněno na obr. 46. Celkově na žádném místě nedochází k překročení dovoleného napětí. Pro tento zatěžovací stav modifikovaná konstrukce se zvedacími plochami na spodních pásnicích vnějších podélníků pevnostně **vyhovuje**.



Obr. 46: Rozložení redukovaného napětí při zvedání celého vozidla na stanovených místech.

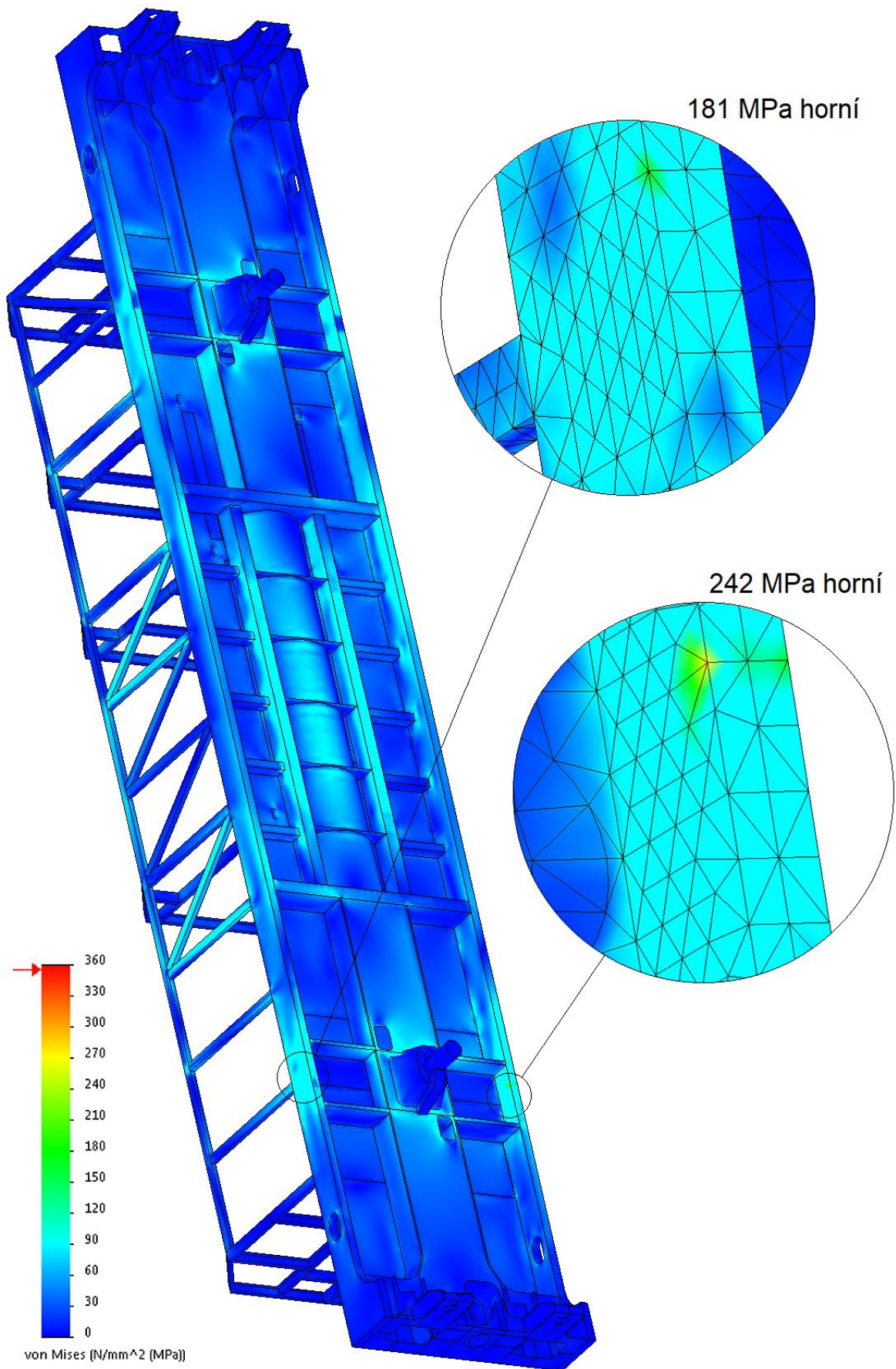
5.4.8 Zdvihání a zvedání při posunutí opěrného místa

Při tomto stavu je zatížení stejné jako v předchozím případě, s tím rozdílem, že jedno ze čtyř zvedacích míst je svisle posunuto o 10 mm nad rovinu ostatních míst. Tomu jsou přizpůsobeny okrajové podmínky – příčné posuvy ($y = 0$ mm) jsou zakázány pouze v místě otočného čepu na straně rámu, kde nedochází k přizvednutí zvedacího místa, aby nebylo bráněno přirozené deformaci. Pro jedno ze zvedacích míst je dále předepsán uvedený svislý posun ($z = 10$ mm).

Nejvyšší redukované napětí von Mises na horní ploše se nachází na hranách ploch pro zvedání směrem ke středu lokomotivy, nejvýše 242 MPa v jednom uzlu přizvednuté plochy. Druhé nejvyšší napětí na stejné ploše má hodnotu 189 MPa. To je dáno aplikací okr. podmínek, obdobně jako v předchozím případě. Na dalších místech rámu napětí nepřesahuje 140 MPa.

Redukované napětí na dolní ploše má obdobný průběh. Napětí dosahuje nejvyšší hodnoty 189 MPa ve stejném místě jako na horní ploše. Druhé nejvyšší napětí má hodnotu 153 MPa. Na ostatních místech rámu, včetně ploch pro zvedání, je napětí nižší.

Redukované napětí von Mises na horní ploše je znázorněno na obr. 47. Celkově dochází k mírnému překročení dovoleného napětí v případě jednoho uzlu. Toto překročení však vyplývá z aplikace okrajových podmínek a vzhledem k ryze lokálnímu charakteru jej lze považovat za přípustné. Pro tento zatěžovací stav modifikovaná konstrukce se zvedacími plochami na spodních pásnicích vnějších podélníků pevnostně **vyhovuje**.



Obr. 47: Rozložení redukovaného napětí při zvedání celého vozidla na stanovených místech při posunutí opěrného místa.

5.4.9 Mezní zatížení spojení skříně s podvozkem – podélné

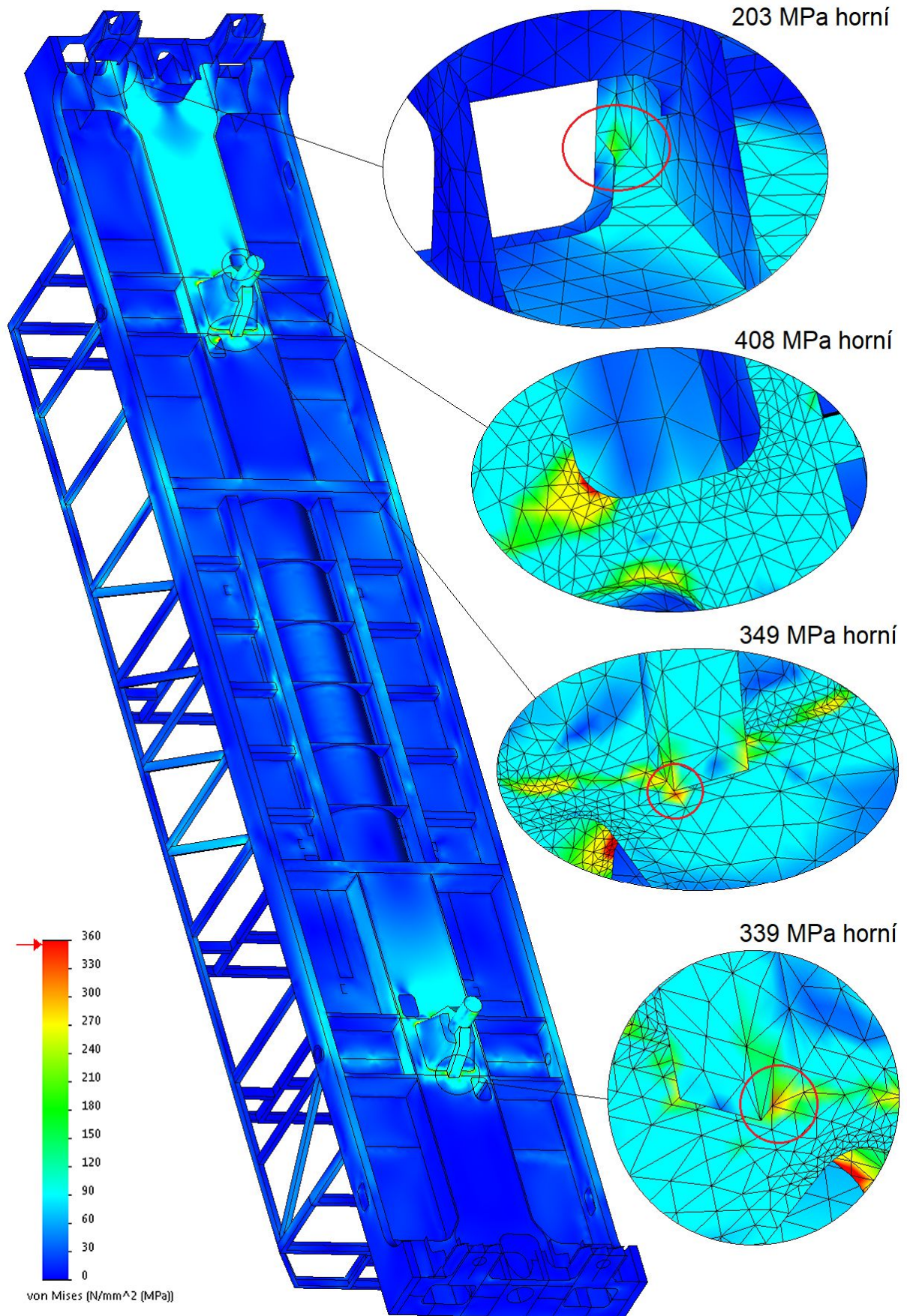
Tento stav zatížení odpovídá situaci nárazu do stojícího vozidla, kdy je spojení skříně s podvozkem namáháno setrvačnou silou podvozku. Pro lokomotivy je velikost této síly stanovena jakou součin hmotnosti podvozku m_2 (v tomto případě 13400 kg) a trojnásobku tíhového zrychlení $\pm 3 g$. Současně působí zatížení vyvolané hmotou skříně m_1 při svislém tíhovém zrychlení $1 g$. Okrajové podmínky jsou aplikovány na pomocné nosníky na spodním konci II. vypružení ($x = y = z = 0$ mm) a dále jsou zakázány podélné posuvy ($x = 0$ mm) v místech uchycení nárazníků na jednom konci rámu (ve směru působící podélné síly). Na daných plochách otočného čepu působí v podélném směru síla o velikosti:

$$F_x = m_2 \cdot 3 \cdot g = 13400 \cdot 3 \cdot 9,81 = 394362 \text{ N} = 394,4 \text{ kN} \quad (19)$$

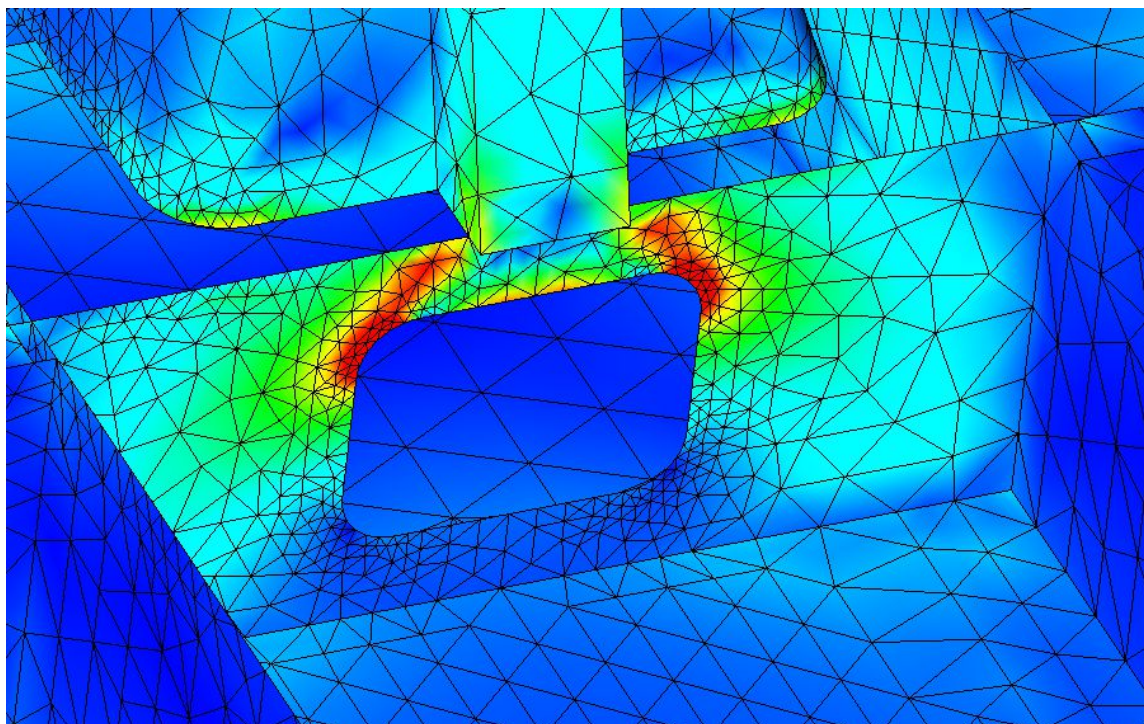
Nejvyšší redukované napětí na horní ploše se nachází na svislém plechu uvnitř hlavního podélníku, až 703 MPa, což výrazně překračuje dovolené napětí. Podobně vysoké hodnoty jsou na všech čtyřech těchto dílech pod oběma otočnými čepy. Vyšší napětí se dále vyskytuje ve spoji čepu s dolní pásnicí hlavního podélníku, lokálně 349 MPa. V samotném spoji tedy k překročení dovoleného napětí nedochází, ovšem jen s minimální rezervou. Na samotných čepích napětí nepřesahuje hodnotu 230 MPa. Na ostatních místech rámu je nejvyšší napětí v místě připojení dolní pásnice hl. podélníku k plechu čelníku – 203 MPa. To je ovšem dáno definicí okrajových podmínek, kdy poblíž těchto míst jsou zachycovány působící síly.

Nejvyšší redukované napětí na dolní ploše má hodnotu 624 MPa a nachází rovněž na svislém výztužném plechu uvnitř hl. podélníku. Dovolené napětí je i v tomto případě významně překročeno na rozsáhlejších plochách tohoto plechu. Na dolní pásnici hl. podélníku je nejvyšší napětí v zaobleném rohu otvoru pro chladicí vzduch k TM – 408 MPa. V samotném spoji pásnice s otočnými čepy nedochází k překročení dovoleného napětí – nejvýše 314 MPa. V ostatních místech je napětí nižší.

Redukované napětí von Mises na horní ploše je znázorněno na obr. 48. Detail svislého plechu, který je nejkritičtějším místem při tomto typu zatížení, je na obr. 49. Pro názornost je skryta dolní pásnice hl. podélníku, pod níž je tento plech umístěn. Je zřejmé, že k překročení dovoleného napětí dochází na rozsáhlé ploše. Navržená konstrukce pro tento zatěžovací stav pevnostně **nevyhovuje**.



Obr. 48: Rozložení redukovaného napětí při podélném zatížení spojení skříňě s podvozkem.



Obr. 49: Detail svislého plechu uvnitř hlavního podélníku se skrytou dolní pásnicí.

5.4.10 Mezní zatížení spojení skříňě s podvozkem – podélné – zesílená varianta

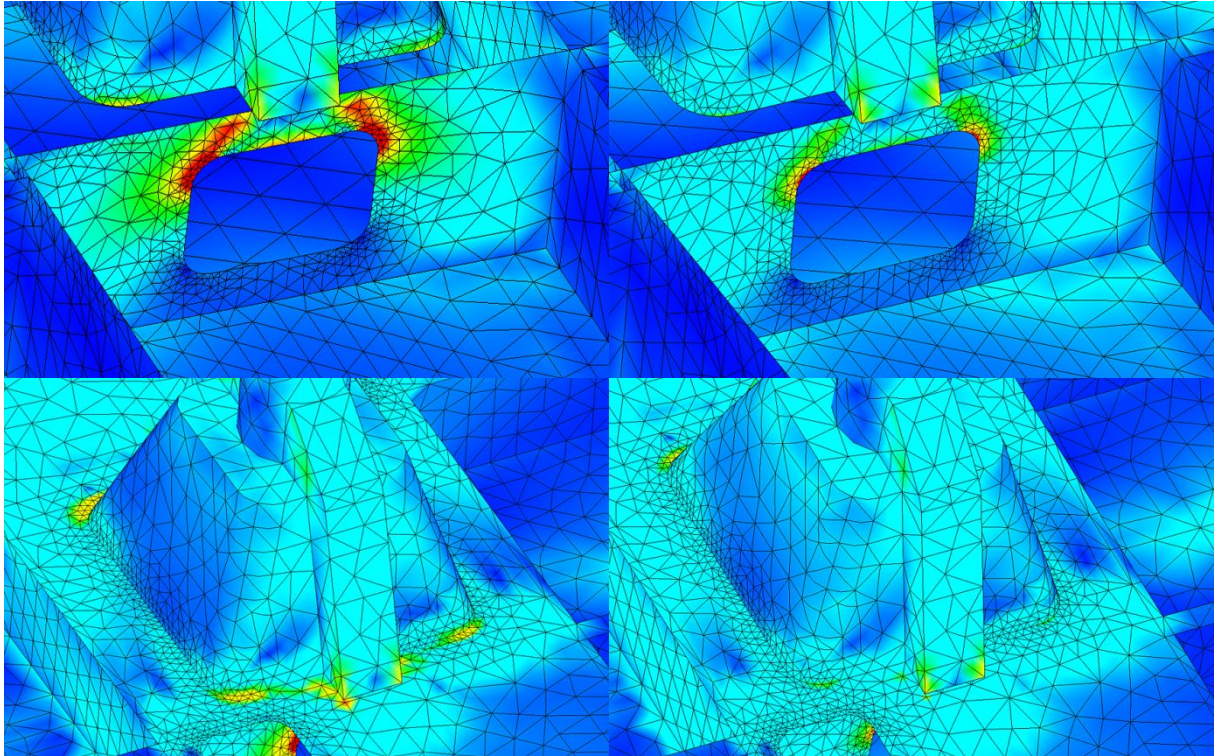
Vzhledem k tomu, že k překročení dovoleného napětí došlo při podélném zatížení spojení skříňě s podvozkem v rozsáhlejší oblasti, je nutné přistoupit k nápravným opatřením. Je zřejmé, že plech dolní pásnice hl. podélníku tloušťky 10 mm není schopen přenést tak velké zatížení, které vzniká ohybovým momentem od působící podélní síly na otočný čep. Proto byla pevnostně prověřena varianta se zesílenou dolní pásnicí podélníku z 10 na 15 mm. Stejně tak byl zesílen i výše znázorněný svislý plech uvnitř podélníku.

Zesílením konstrukce došlo na horní ploše elementů k poklesu nejvyššího napětí ze 703 MPa na 426 MPa. Toto napětí se nachází rovněž na uvedeném svislém plechu. Je však výrazně lokálnějšího charakteru, než tomu bylo v původní variantě. Podstatně se snížilo napětí také ve spoji ot. čepu s pásnicí podélníku, které nyní dosahuje max. hodnoty 287 MPa (oproti 349 MPa v původní variantě).

Na dolní ploše má nejvyšší zjištěné napětí hodnotu 358 MPa (vs. 624 MPa v původní variantě) a celkově je ze všech uzlů dovolené napětí překročeno pouze ve dvou z nich, v obou případech opět v zaoblených rozích svislého výztužného plechu. Ve všech ostatních uzlech napětí nepřekračuje dovolenou hodnotu.

U zesílené varianty sice stále dochází k překročení dovoleného napětí, ovšem již ve výrazně menších oblastech a s nižší max. hodnotou. Porovnání kritických míst obou variant je znázorněno na obr. 50. Pro jistotu by bylo vhodné ověřit zesílenou variantu pomocí nelineární

pružně-plastické analýzy, příp. zkusit i jiné umístění svislé výztuhy. Ideálním řešením pro snížení napětí by bylo odstranění otvoru v plechu, což je však nemožné, neboť je zde uvažován vzduchovod k druhému TM. Za ověření by stála též změna tvaru otvoru na kruhový, pokud by to bylo realizovatelné z hlediska tvaru vzduchovodu. Toto kritické místo by tedy při případné realizaci navrženého rámu bylo zapotřebí podrobněji analyzovat. Celkově však zesílená konstrukce pro tento zatěžovací stav pevnostně **vyhovuje**.



Obr. 50: Porovnání původní (vlevo) a zesílené varianty (vpravo).

Zesílení dolní pásnice hlavního podélníku by mělo jistě příznivý dopad i na další zatěžovací stavy, zejména podélné síly působící na uchycení nárazníků nebo spráhla. Negativem tohoto řešení je naopak zvýšení hmotnosti konstrukce o 516 kg, tedy celkově z 13200 na 13716 kg.

5.4.11 Mezní zatížení spojení skříně s podvozkem – příčné

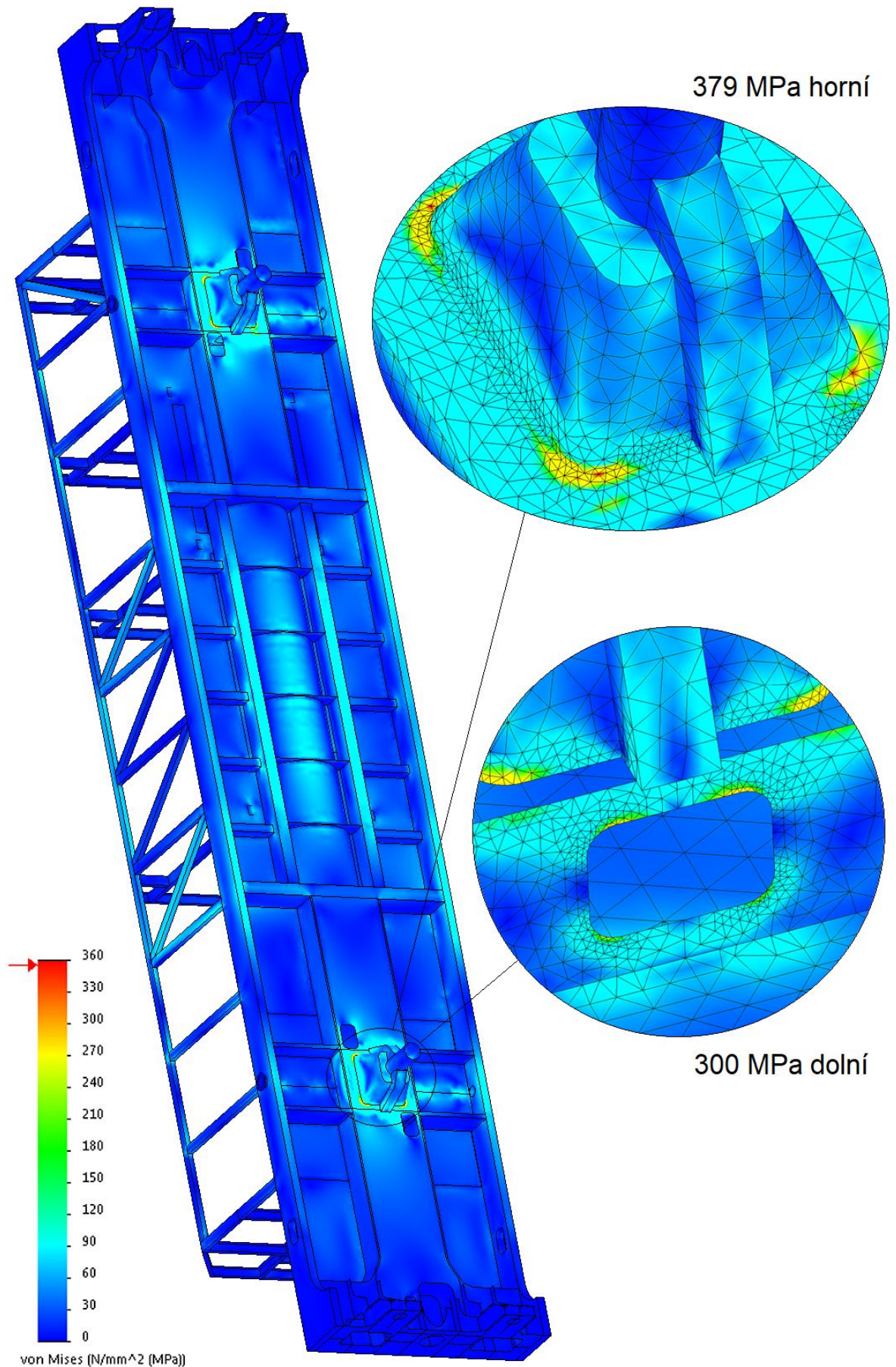
Tento stav ověřuje odolnost spojení skříně s podvozkem při působení příčného zatížení, vyvolaného setrvačnou silou podvozku při příčném zrychlení $\pm 1 g$. Současně působí zatížení vyvolané hmotou skříně m_I při svislém tíhovém zrychlení $1 g$. Okrajové podmínky jsou aplikovány na pomocné nosníky na spodním konci II. vypružení ($x = y = z = 0$ mm) a dále jsou zakázány příčné ($y = 0$ mm) a svislé ($z = 0$ mm) posuvy v místech dosedacích ploch skříně na II. vypružení, tj. na horním konci pružin. Vypružení tedy umožňuje pohyblivost pouze v podélném směru. Na daných plochách otočného čepu působí v příčném směru síla o velikosti:

$$F_y = m_2 \cdot g = 13400 \cdot 9,81 = 131454 \text{ N} = 131,5 \text{ kN} \quad (20)$$

Nejvyšší napětí na horní ploše má hodnotu 379 MPa a nachází se v zaobleném rohu spoje otočného čepu s dolní pásnicí hl. podélníku. S výjimkou těchto rohů na žádném dalším místě nedochází k překročení dovoleného napětí. Na svislém výztužném plechu uvnitř hlavního podélníku, který se ukázal jako citlivé místo při podélném zatížení otočného čepu, je nejvyšší napětí 271 MPa. Na ostatních místech rámu je napětí výrazně nižší.

Na dolní ploše má nejvyšší zjištěné napětí hodnotu 361 MPa a nachází se rovněž v zaobleném rohu spoje otočného čepu s dolní pásnicí hl. podélníku. Celkově je dovolené napětí překročeno pouze v tomto jediném uzlu. Ve všech ostatních uzlech napětí nepřekračuje dovolenou hodnotu. Na svislém výztužném plechu uvnitř hl. podélníku je nejvyšší napětí 300 MPa.

Redukované napětí von Mises na horní ploše je znázorněno na obr. 51. Svislý plech, který je nejkritičtější místem při podélném zatížení, je zobrazen na spodním detailu. Pro názornost je skryta dolní pásnice hl. podélníku, pod níž je tento plech umístěn. Při příčném zatížení je dovolené napětí překročeno pouze v lokálních oblastech výrazné změny geometrie, což lze považovat za přípustné. Navržená konstrukce pro toto zatížení pevnostně **vyhovuje**.



Obr. 51: Rozložení redukovaného napětí při příčném zatížení spojení skříňě s podvozkem.

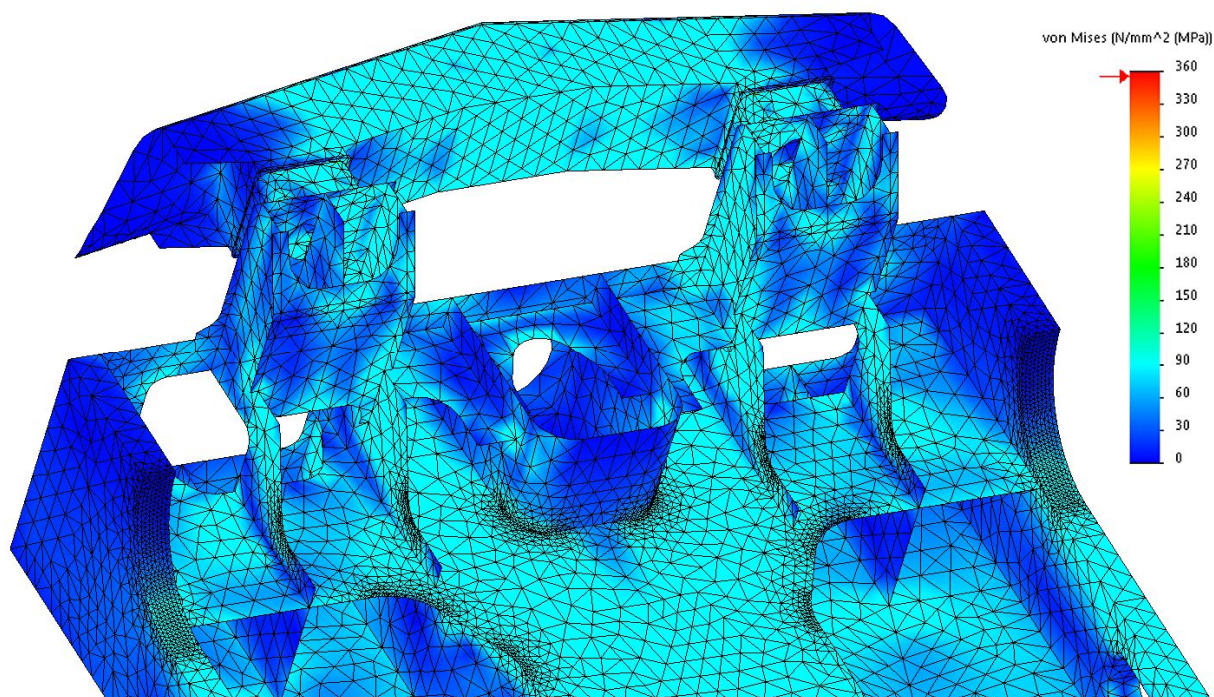
5.4.12 Statické zatížení v ose smetadla překážek

V ose smetadla překážek působí tlaková síla o velikosti 240 kN dle ČSN EN 15227+A1. Současně působí svislé zatížení vyvolané hmotností m_l (konstrukční hmotnost skříně) při tíhovém zrychlení 1 g. Okrajové podmínky ($x = y = z = 0$ mm) jsou aplikovány v místech pomocných nosníků na spodním konci II. vypružení. Pro správné vnášení zatížení je pro tento a následující zatěžovací stav součástí rámu rovněž smetadlo překážek, jehož provedení zcela odpovídá lokomotivám řady 744.1. Detail smetadla je zobrazen na obr. 52.

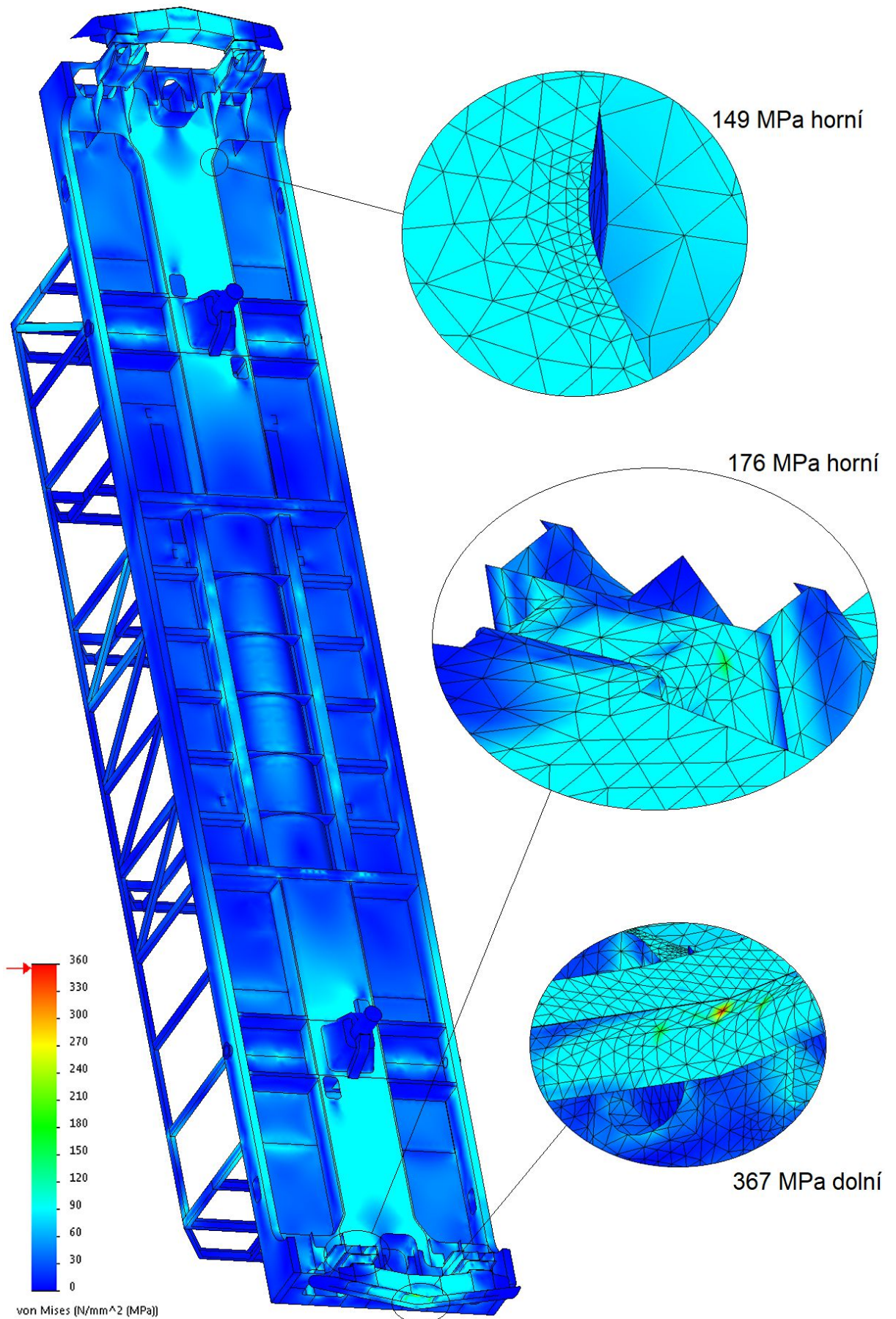
Nejvyšší redukované napětí na horní ploše skořepinových elementů se nachází v místech působení podélných sil, tj. přímo na čelní ploše smetadla – 252 MPa. Zvýšené napětí je na několika místech konzol nesoucích pluh, nejvýše 176 MPa v místě čelní stěny konzoly. Na samotném rámu je vyšší napětí zejména na spodní pásnici hlavního podélníku, konkrétně v místě rozšiřování směrem k čelníkům – 149 MPa. Standardně je rovněž zvýšené napětí v zaoblených rozích otvorů pro chladicí vzduch k trakčním motorům – 137 MPa.

Na dolní ploše elementů bylo zjištěno nejvyšší napětí rovněž v místě působení podélného zatížení, lokálně až 367 MPa, což je jediné místo, kde došlo k překročení dovoleného napětí. Na dalších místech rámu je průběh napětí obdobný.

Rozložení redukovaného napětí von Mises (horní) je znázorněno na obr. 53. S výjimkou jednoho elementu v místě působení podélné síly na žádném místě rámu nedochází k překročení dovoleného napětí. Navržená konstrukce pro toto zatížení pevnostně **vyhovuje**.



Obr. 52: Detail provedení pluhu a jeho připojení k rámu.



Obr. 53: Rozložení redukovaného napětí (horní) při osovém zatížení smetadla překážek.

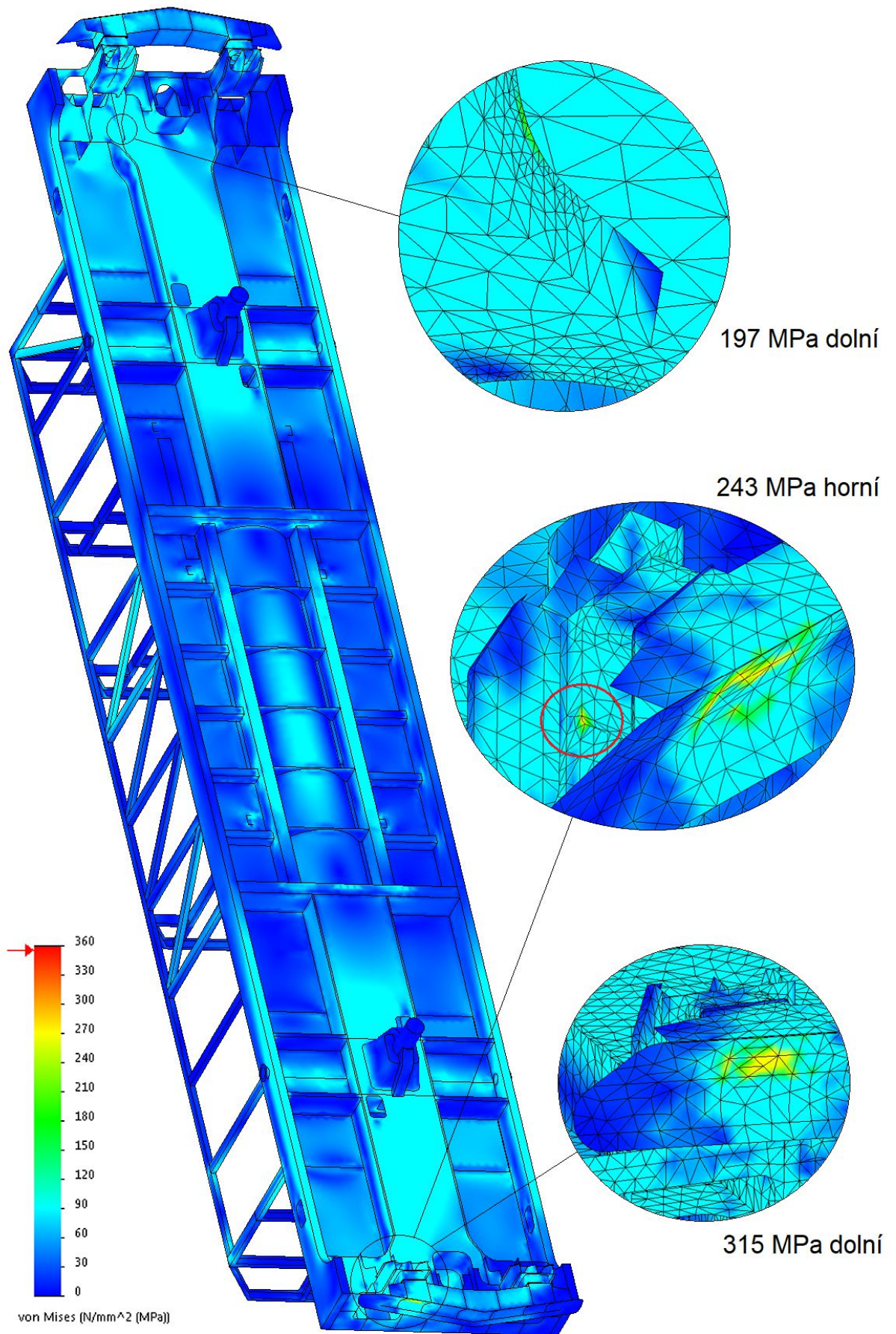
5.4.13 Statické zatížení ve vzdálenosti 750 mm příčně od osy smetadla překážek

Ve vzdálenosti 750 mm příčně od osy smetadla překážek působí tlaková síla o velikosti 200 kN dle ČSN EN 15227+A1. Současně působí svislé zatížení vyvolané hmotností m_I při tíhovém zrychlení 1 g. Okrajové podmínky ($x = y = z = 0$ mm) jsou aplikovány v místech pomocných nosníků na spodním konci II. vypružení.

Nejvyšší redukované napětí na horní ploše skořepinových elementů se nachází v místech působení podélných sil, tj. přímo na čelní ploše smetadla – 302 MPa. Zvýšené napětí se dále nachází na několika místech konzol nesoucích pluh, nejvýše 243 MPa v místě čelní stěny konzoly. Na samotném rámu je vyšší napětí zejména na spodní pásnici hlavního podélníku, konkrétně v místě jeho rozšiřování směrem k čelníkům – 206 MPa. Na svislých podpěrách, na nichž jsou uchyceny konzoly pluhu, je napětí nejvýše 184 MPa v místě zaoblení ze šikmé na vodorovnou část plechu. Na ostatních místech rámu napětí nepřekračuje 150 MPa.

Na dolní ploše elementů bylo zjištěno nejvyšší napětí rovněž v místě působení podélného zatížení, lokálně 315 MPa. Druhé nejvyšší napětí se nachází v místě zaoblení svislé podpěry konzoly pluhu – 197 MPa. Na dalších místech rámu je průběh napětí obdobný.

Rozložení redukovaného napětí von Mises (horní) je znázorněno na obr. 54. Na žádném místě nedochází k překročení meze kluzu. Navržená konstrukce pro toto zatížení pevnostně **vyhovuje**.



Obr. 54: Rozložení redukovaného napětí (horní) při zatížení jedné strany smetadla překážek.

5.5 Zhodnocení pevnostních analýz

Pro přehlednost je nyní vhodné zrekapitulovat výsledky pevnostních analýz **původní** navržené konstrukce pro jednotlivé zatěžovací stavy:

| | |
|--|-------------------|
| 1. tlaková síla v místech uchycení nárazníků 2 MN | nevyhovuje |
| 2. tlaková síla v místech uchycení nárazníků úhlopříčně | vyhovuje |
| 3. tlaková síla na uchycení spřáhla | vyhovuje |
| 4. maximální provozní zatížení | vyhovuje |
| 5. zdvihání a zvedání na stan. místech na jednom konci vozidla | nevyhovuje |
| 6. zdvihání a zvedání celého vozidla na stanovených místech | nevyhovuje |
| 7. zdvihání a zvedání celého vozidla při posunutí opěrného místa | nevyhovuje |
| 8. mezní zatížení spojení skříňe s podvozkem – podélné | nevyhovuje |
| 9. mezní zatížení spojení skříňe s podvozkem – příčné | vyhovuje |
| 10. statické zatížení v ose smetadla | vyhovuje |
| 11. statické zatížení ve vzdálenosti 750 mm příčně od osy smetadla | vyhovuje |

Jak je vidět, v 5 z 11 zatěžovacích stavů původní konstrukce pevnostně nevyhovuje. To není až tak překvapivé zjištění, neboť by bylo velmi naivní předpokládat, že prvotní koncepční návrh nebude mít žádné slabé místo a pevnostně vyhoví zcela bez úprav. Obecně lze však říci, že k překročení dovoleného napětí dochází vždy na poměrně malých plochách. To potvrzuje, že celkové uspořádání rámu je pro přenos daných zatížení vhodné a po menších úpravách lze dospět k požadovaným výsledkům. Kritickými místy původního návrhu jsou:

- rohy otvorů pro výstup chladicího vzduchu k trakčním motorům;
- místa rozšíření dolní pásnice hlavních podélníků směrem k čelníkům;
- připojení dolní pásnice hlavního podélníku k svislému krycímu plechu spřáhla;
- připojení podélníků motorgenerátoru k středním příčnicím;
- příhradová konstrukce bočnic na straně elektrické sekce strojovny;
- zvedací konzoly, resp. stojina vnějších podélníků v blízkosti konzol;
- dolní pásnice hlavních podélníků v místech připojení otočných čepů;
- svislé výztužné plechy uvnitř hl. podélníků pod otočnými čepy.

Již v průběhu pevnostních analýz původní konstrukce bylo provedeno několik opatření pro zlepšení zjištěného nevyhovujícího stavu. Tato opatření s příslušnými výsledky a porovnáním s původní variantou jsou uvedena vždy za popisem daného zatěžovacího stavu, při němž původní konstrukce nevyhověla. Je však vhodné zde pro přehlednost shrnout všechny nápravná opatření:

- zesílení plechu dolní pásnice hl. podélníků z 10 na 15 mm;
- doplnění celkem čtyř šikmých výztuh příhradové konstrukce v místě elektrické sekce strojovny;
- náhrada původních zvedacích konzol pro zvedání celého vozidla za zvedací plochy na dolní pásnici vnějších podélníků v úrovni otočných čepů;
- zesílení svislých výztužných plechů uvnitř hl. podélníků pod otočnými čepy z 10 na 15 mm.

Těmito úpravami se podařilo eliminovat drtivou většinu výskytů překročení dovoleného napětí. Prokazatelně nejvýznamnější pozitivní vliv má doplnění šikmých výztuh příhradové konstrukce, čímž se podařilo výrazně snížit průhyb skříňe. To vede ke snížení napětí – mimo jiné – i v místě připojení podélníků motorgenerátoru k středním příčnicím. Celkově se také snížilo napětí na dolních pásnicích vnějších podélníků. Dále je třeba zmínit problematiku zvedacích konzol – původní variantu by bylo možné uvažovat pouze za předpokladu zesílení stojin vnějších podélníků v okolí těchto konzol, jinak je nutné nahradit konzoly uvedenými zvedacími plochami. Použití normovaných zvedacích konzol dle ČSN EN 16404 v tomto případě není možné, neboť pro ně není potřebný prostor. **Závěrem této kapitoly je možné prohlásit, že po provedení výše uvedených úprav lze konstrukci rámu (skříňe) považovat za pevnostně vyhovující.** Přiložený výkres rámu však zachycuje původní variantu bez vyjmenovaných úprav, aby bylo zřejmé, jaká konstrukce byla podrobena pevnostním analýzám.

Před případnou realizací je však **doporučeno ověřit některé další možnosti**, které již z časových důvodů nebylo možné analyzovat v rámci řešení této diplomové práce. Zejména se jedná o provedení nelineárních pružně-plastických analýz, které by prokázaly, zda v uvedených místech s překročeným dovoleným napětím skutečně dochází k trvalým deformacím, či nikoliv. Dále je vhodné ověřit možnou náhradu válcovaných U-profilů příhradové konstrukce uzavřenými profily (jäckly) a její vliv na ohybovou pevnost skříňe. Také by bylo vhodné prověřit možnost snížení tloušťky dolní pásnice vnějších podélníků (nyní 15 mm), neboť po doplnění šikmých výztuh výrazně pokleslo napětí na těchto prvcích. Nelze také opomenout vliv konstrukce kabin, které ve skutečnosti budou součástí skříňe. Tím může dojít k celkovému zvýšení tuhosti skříňe s možností odlehčení některých prvků rámu, nebo se naopak vliv kabin může projevit negativně a bude nutné konstrukci optimalizovat.

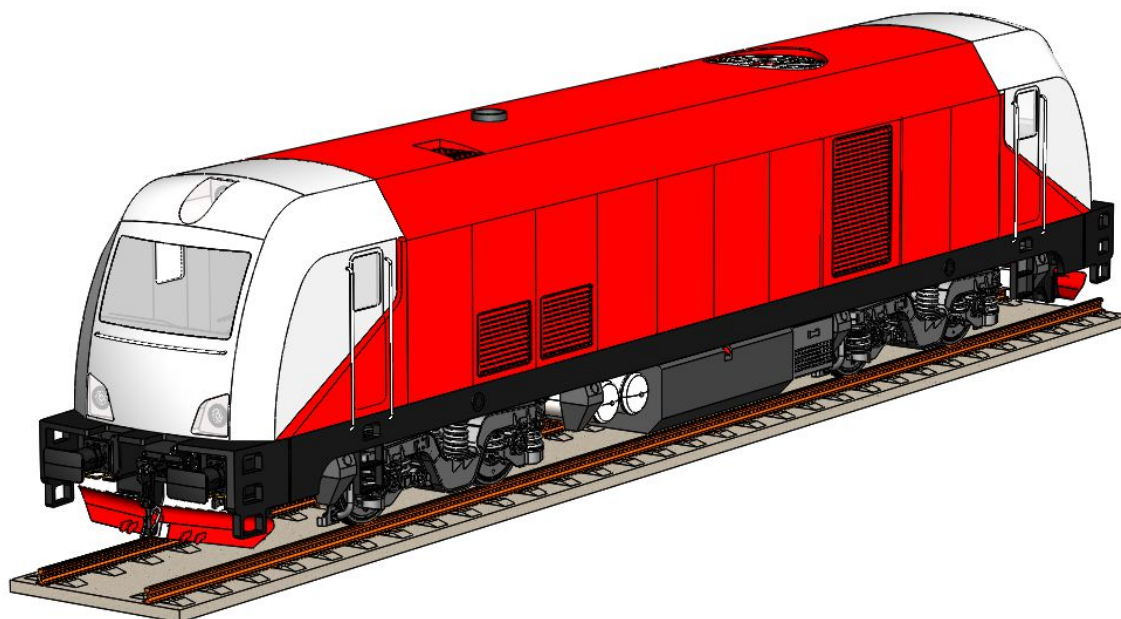
6 VZHLED LOKOMOTIVY

Již v kapitole 3.3, která se zabývala rozvržením strojovny, byly uvedeny nákresy možné podoby navrhované lokomotivy. Byla by tedy škoda nepokusit se na závěr „zhmotnit“ celou lokomotivu ve formě 3D modelu, se zohledněním všech dílčích poznatků této diplomové práce.

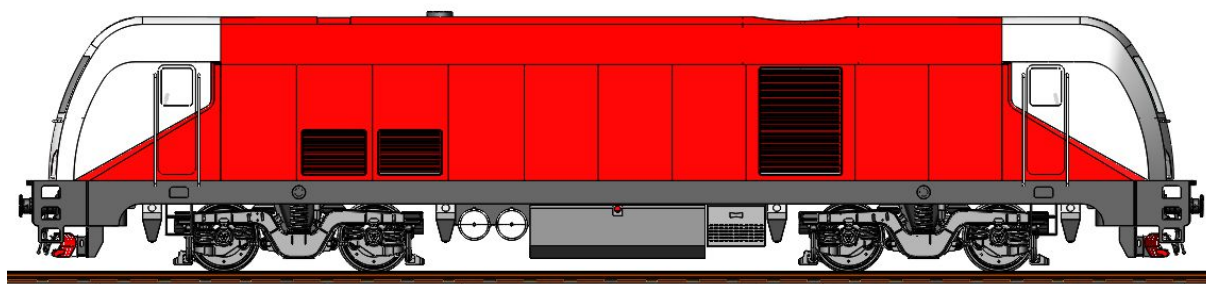
Design skříňových lokomotiv je dnes do jisté míry dán platnými normami – konkrétně je řeč např. o zkosení střešních partií, které vyplývá z obrysu pro vozidlo. Stejně tak oblasti nárazníků a čelní části rámu vychází z nutnosti dodržet Bernský prostor při zachování bezpečného přístupu pro umytí čelních oken, příp. pro zapojení UIC zásuvek. Dalšími faktory, které ovlivňují design čel lokomotiv, jsou samozřejmě požadavky nárazové odolnosti a s nimi spojená nutnost zabudování deformačních zón, viz čelní vozy ucelených regionálních jednotek. A v neposlední řadě je nutné zmínit otázku ceny a náročnosti výroby. Jakýkoliv atraktivnější design obvykle vyžaduje použití laminátových dílů, jejichž výroba (přesněji řečeno výroba forem) může být pro malé série vozidel příliš drahá. V takovém případě tedy zbývá použití plechových dílů, což prakticky znemožňuje jakékoliv složitější tvarování čela. Příkladem takové koncepce mohou být lokomotivy TRAXX (Bombardier) starší generace, či EuroSprinter (Siemens), které jsou si tvarově velmi podobné. Naopak již nejnovější generace prvně uvedeného typu začala využívat laminátové díly, což se projevuje vzhledově atraktivnějším provedením čel. Jedná se tedy vždy o určitý kompromis mezi cenou/náročností výroby a vzhledem.

V případě zde navrhované lokomotivy existuje od zadavatele tématu – spol. CZ LOKO – požadavek na zachování designových prvků použitých na modernizovaných lokomotivách EffiLiner 1600 (řada 753.6). Tím je myšleno zejména optické oddělení kabiny od části strojovny, se zešíkmením v dolní části kabiny. Vytvořený designový návrh tyto prvky zachovává, což přispívá ke snadnému přiřazení lokomotivy ke konkrétnímu výrobcu. Nevýhodou tohoto řešení je však tvarová složitost vnějšího obložení kabiny, která vyžaduje použití laminátových dílů. Ke změně v designu došlo u tvaru vnějšího osvětlení, což vychází ze snížení počtu světel z původních 5 u lokomotiv řady 753.6 na 3, neboť aktuálně používaná návěštní světla v sobě integrují reflektor. Není tedy nutné použití zvláštních reflektorů, jako tomu bylo u dříve používaných světel.

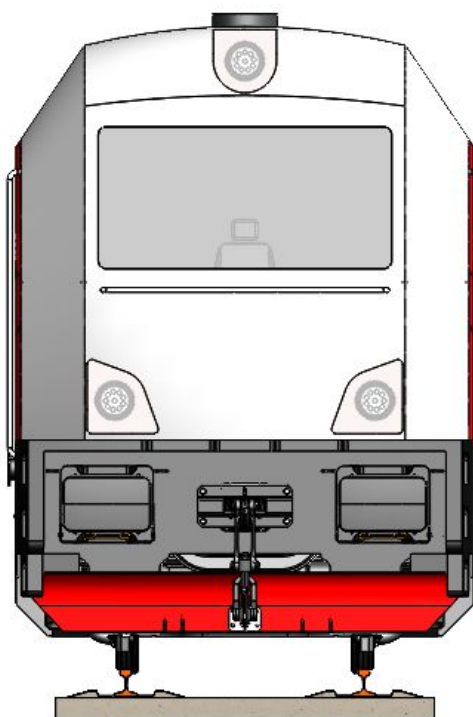
Tolik tedy k základním myšlenkám navrhovaného designu, který je představen na vizualizacích na následující straně. Zbývá doplnit, že uvedené 3D modely jsou zjednodušené a neobsahují některé prvky, např. jednotky kotoučové brzdy, stěrače, brzdové spojky atd.



Obr. 55: Vizualizace navrhované lokomotivy.



Obr. 56: Vizualizace navrhované lokomotivy – boční pohled.



Obr. 57: Vizualizace navrhované lokomotivy – čelní pohled.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo provést koncepční návrh hlavního rámu nové skříňové motorové lokomotivy se střídavým přenosem výkonu, která by doplnila produktové portfolio spol. CZ LOKO, konkrétně jako náhrada za modernizované lokomotivy řady 753.6.

Úvodní část práce byla věnována stanovení základních parametrů navrhované lokomotivy, včetně stručného posouzení budoucího provozu lokomotiv tohoto typu v podmínkách ČR. Z této části vyplynul základní požadavek na **nápravové zatížení maximálně 20 t**.

Druhá část práce analyzuje současnou nabídku lokomotiv uvedených parametrů největších evropských výrobců a porovnává jejich základní parametry, zejména s ohledem na uspořádání strojovny, celkovou hmotnost, základní rozměry atd.

Ve třetí kapitole byla provedena nezbytná rozvaha uspořádání strojovny s porovnáním několika variant umístění průchozí uličky, z nichž bylo jako nejvhodnější vybráno **uspořádání vycházející z lokomotiv TRAXX**. Na základě tohoto rozhodnutí byl zpracován návrh rozmístění komponentů trakční výzbroje a pomocných pohonů ve strojovně, včetně hmotnostní rozvahy a kontroly polohy těžiště navrhovaného uspořádání.

Dalším krokem byl samotný koncepční návrh hlavního rámu, potažmo celé skříně, provedený ve 4. kapitole. Uspořádání rámu je inspirováno moderními lokomotivami typu Vectron, TRAXX aj, z nichž přebírá základní řešení s **vnějšími skříňovými podélníky** a kombinuje je s některými prvky z lokomotiv řady 744.1. Součástí návrhu jsou i možnosti provedení bočnic s výběrem **příhradové konstrukce s krycími panely** jako nejvhodnější varianty s ohledem na výrobní možnosti a dosavadní zkušenosti výrobce CZ LOKO.

Navržená konstrukce skříně byla s určitými zjednodušeními podrobena statickým pevnostním analýzám MKP, které poukázaly na **několik slabých míst původního návrhu**. K překročení dovoleného napětí došlo zejména při působení tlakové síly 2 MN na nárazníky, při zvedání vozidla za jeden konec a při působení podélné setrvačné síly podvozku při nárazu. Na základě těchto výsledků bylo navrženo několik **úprav původní konstrukce**, vedoucích ke snížení redukovaného napětí v kritických místech. Jako velmi přínosné se ukázaly **šikmé výztuhy** příhradové konstrukce bočnic, kterým původně nebyl přikládán takový význam, a v některých místech byly vynechány. Při působení podélných sil však výztuhy velmi významně snižují průhyb rámu a tím i napětí na pásnicích podélníků. Dále muselo být upuštěno od původního provedení konzol pro zvedání vozidla, neboť pevnostně nevyhovovaly. Náhradou za tyto konzoly byly navrženy jednoduché zvedací plochy přímo na spodních pásnicích vnějších podélníků. **Po těchto úpravách lze navrženou konstrukci považovat za pevnostně vyhovující při současném splnění požadavků na maximální hmotnost skříně.**

Závěry, zjištěné v této diplomové práci, mohou posloužit jako základ projektování nové lokomotivy obdobných parametrů, která v současnosti na středoevropském trhu chybí.

SEZNAM LITERATURY

- [1] SŮRA, Jan. Arriva vyhrála soutěž na motorové rychlíky, vstoupí na čtyři dálkové linky. *Zdopravy.cz* [online]. 2019 [cit. 2019-02-12]. ISSN 2570-7868. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/arriva-vyhrala-soutez-na-motorove-rychliky-vstoupi-na-ctyri-dalkove-linky-19949/>
- [2] BRABENEC, Daniel. Nová lokomotiva 719.701 z produkce firmy CZ LOKO. *Stránky Přátel Železnic: Magazín o železnici a městské dopravě* [online]. 2008 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <http://spz.logout.cz/novinky/novinky.php?poradi=1086>
- [3] Technické parametry tratí: Dovolené traťové třídy zatížení. In: *Portál provozování dráhy* [online]. Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, 31.10.2018 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <http://provoz.szdc.cz/PORTAL/ViewArticle.aspx?oid=594598>
- [4] POHL, Jiří. Druhá generace interoperabilních lokomotiv. In: *Odborné semináře a konference Czech Raildays 2011: Nové trendy v oblasti infrastruktury a kolejových vozidel* [online]. 2011 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: http://www.czech-raildays.cz/2011/seminare/trendy_pohl.pdf
- [5] *Vectron – lokomotiva, která vytváří nová spojení.: Answers for mobility.* [online]. In: Praha: Siemens [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/mobility-logistics/Vectron/Documents/Brozura_Vectron_CZ.pdf
- [6] Vectron DE. *MainlineDiesels.net* [online]. 2019 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.mainlinediesels.net/index.php?nav=1000823&lang=en>
- [7] TRAXX DE. *MainlineDiesels.net* [online]. 2019 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.mainlinediesels.net/index.php?nav=1000929&lang=en>
- [8] TRAXX DE Multi Engine. *MainlineDiesels.net* [online]. 2019 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.mainlinediesels.net/index.php?nav=1000930&lang=en>
- [9] ZICHA, Josef. Nové lokomotivní motory Caterpillar splňují emisní limity STAGE IIIB. *Silnice Železnice* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, 2014 [cit. 2019-02-12]. ISSN 1803-8441. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/nove-lokomotivni-motory-caterpillar-splnuji-emisni-limity-stage-iiib>
- [10] The Bombardier Transportation Division: Locomotives (LOC) [online]. 2008 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.scribd.com/document/49585751/Bombardier-Presentation-LOC-division>

- [11] Pesa 111D. *MainlineDiesels.net* [online]. 2019 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.mainlinediesels.net/index.php?nav=1000819&lang=en>
- [12] <http://www.pesa.pl/wp-content/uploads/2015/04/gama.jpg>
- [13] Locomotives. *PESA* [online]. Bydgoszcz, c2019 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: http://www.pesa.pl/wp-content/uploads/2018/07/loco_ENG.pdf
- [14] Stadler Rail Valencia. *MainlineDiesels.net* [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.mainlinediesels.net/index.php?nav=1000097&lang=en>
- [15] UKlight diesel-electric locomotive: BRL1 to be used by DRS, UK. *Stadler Rail* [online]. Bussnang, Schweiz: Stadler Rail AG [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.stadlerrail.com/media/pdf/1deuklightbrl1drs0816e.pdf>
- [16] Eurolight. *MainlineDiesels.net* [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.mainlinediesels.net/index.php?nav=1000174&lang=en>
- [17] UKLight. *MainlineDiesels.net* [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <https://www.mainlinediesels.net/index.php?nav=1000175&lang=en>
- [18] *UIC 651: Layout of driver's cabs in locomotives, railcars, multiple-unit trains and driving trailers*. 4th ed. International Union of Railways, 2002.
- [19] Direct Rail Services Class 68. *Scaletrainsclub.com* [online]. [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: <http://scaletrainsclub.com/board/download/file.php?style=5&id=135756&mode=view>
- [20] AdBlue. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019, 23. 01. 2019 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=AdBlue&oldid=16882338>
- [21] Diesel Engines Series 4000 R04: for Push-pull Trains and Locomotives. MTU [online]. MTU Friedrichshafen, c2019 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: https://mtu-online-shop.com/print/3239961_MTU_Rail_spec_4000R54_St3B.pdf
- [22] 3512E. *Caterpillar.com* [online]. c2019 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: https://www.cat.com/en_US/products/new/power-systems/oil-and-gas/well-service-engines/1000004391.html
- [23] Synchronous generators for trains application: TYPE 1FC2. *Siemens Electric Machines* [online]. Praha: Siemens, 2010 [cit. 2019-02-13]. Dostupné z: https://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/produkty_a_sluzby/sem/Do

cuments/1FC2%20,%20290%20-%202200%20kVA%20,%204%20-%2010%20poles.pdf

- [24] Motorová nafta. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019, 17. 12. 2018 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Motorov%C3%A1_nafta
- [25] AdBlue: NOx - redukční činidlo. *MOL Česká republika* [online]. 2018 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: https://molcesko.cz/images/content/LUB_repo/TDS_AdBlue_CZ.pdf
- [26] Bernský prostor. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019, 15. 1. 2017 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bernsk%C3%BD_prostor
- [27] ČSN EN 15273-2+A1. *Železniční aplikace – Průjezdové průřezy tratí a obrysy vozidel – Část 2: Obrysy vozidel*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [28] JANIŠ, Ondřej. *Návrh pojezdové části čtyřnápravové dvoupodvozkové lokomotivy*. Pardubice, 2010. Diplomová práce. Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Vedoucí práce Jan Kopal.
- [29] Nařízení Komise (EU) č. 1302/2014 (kolejová vozidla – lokomotivy a kolejová vozidla pro přepravu osob železničního systému v Evropské unii).
- [30] ČSN EN 12663-1 +A1. *Železniční aplikace - Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel - Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy (a alternativní metoda pro nákladní vozy)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [31] ČSN EN 15227+A1. *Železniční aplikace - Požadavky na odolnost skříní železničních vozidel proti nárazu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [32] ZLINSKÝ, Zbyněk. CZ LOKO: první 753.7 pro ČD Cargo. In: *Vlaky.net* [online]. 24. 11. 2008 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.vlaky.net/zeleznice/spravy/002781-CZ-LOKO-Prvni-7537-pro-CD-CARGO/>
- [33] Class 68 UKLight locomotives take shape. In: *Railway Gazette* [online]. London: DVV Media International Limited, 03 May 2013 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.railwaygazette.com/news/freight/single-view/view/class-68-uklight-locomotives-take-shape.html>

- [34] RollingOnRails: First components are being built – a sidewall. In: *Flickr.com* [online]. July 2011 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/rollingonrails/5987964976/in/dateposted/>
- [35] SWISSTRIP, Peider. Vectron: Next VR units (Finland) in assembly line at Siemens factory. In: *Railroad Picture Archives* [online]. c2001-2016, 5/2/2016 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: <http://www.rrpicturearchives.net/showPicture.aspx?id=4453920>
- [36] Dokumentace dodaná společností CZ LOKO, a.s.
- [37] Přehled vlastností oceli S355J2. In: *Bolzano.cz* [online]. Kladno, c2019 [cit. 2019-03-02]. Dostupné z: https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP-%20Prehled%20vlastnosti_S355J2.pdf

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1** Výkres hlavního rámu (číslo výkresu 0-0221-001).
Příloha 2 Typový výkres lokomotivy (číslo výkresu 2-8035-001).