

KONTROLA ÚNAVY KOSTRY KAPOTY DIESEL ELEKTRICKÉ LOKOMOTIVY

Petr TOMEK, Petr PAŠČENKO, Doubravka STŘEDOVÁ

Katedra mechaniky, materiálů a částí strojů, Dopravní fakulta Jana Pernera, Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice, ČR, e-mail: petr.tomek@upce.cz, petr.pascenko@upce.cz, doubravka.stredova@upce.cz

Annotation

The original construction of hood of diesel electric locomotive is analyzed in this paper. The whole construction is loaded by inertia effects caused by prescribed acceleration. The parts of the hood are subject to the standards for railway applications CSN EN 12663-1 [1]. Numerical analyses are performed by FEM computer program COSMOSWorks [2]. The main aim of this paper is to determine critical points of construction on the basis of the results of numerical analyses. Structural changes are proposed in conclusion of this article.

Úvod

Tento článek se zabývá kontrolou vysokocyklové únavy kostry kapoty železniční diesel elektrické lokomotivy. Kostra kapoty je převážně vyrobena z uzavřených tenkostěnných profilů. Duté profily jsou spojené svařováním. Kostra kapoty je zatížena setrvačnými účinky vyvolanými předepsaným zrychlením. Kapota podléhá ustanovením normy pro železniční aplikace ČSN EN 12663–1[1]. V první části článku je analyzován původní návrh konstrukčního řešení. Dále jsou stanovena kritická místa konstrukce. V závěrečné části jsou na základě výsledků navrženy konstrukční úpravy pro odstranění kritických míst původní konstrukce.

Zatížení kostry kapoty

Základní zatěžovací parametry kostry kapoty vychází z ČSN EN 12663–1 [1]. Numerický model je během výpočtu vystaven působení předepsané kombinace rozkmitu zrychlení. Hodnoty a kombinace působícího zrychlení (násobky zrychlení $g=-9,81 m.s^{-2}$) pro jednotlivé zatěžovací stavy jsou uvedeny v Tab. 1. Souřadný systém je uveden na Obr. 1.

Tab. 1: Hodnoty zrychlení pro vyhodnocení vysokocyklové únavy podle ČSN EN 12663–1.

Zatěžovací stav LC	Hodnota zrychlení v ose x	Hodnota zrychlení v ose y	Hodnota zrychlení v ose z
6+	0,15·g	0,2·g	1,25·g
6-	-0,15·g	-0,2·g	0,75·g
Rozkmit zatížení (LC6+ ÷ LC6-)	±0,15·g	±0,2·g	(1±0,25)·g

Tab. 2: Mechanické hodnoty materiálu S275 J2H.

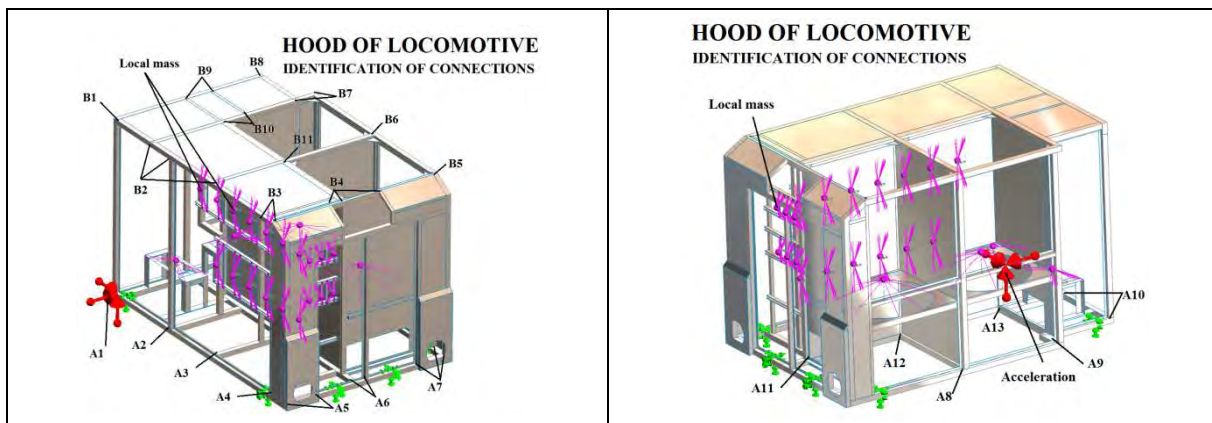
T [°C]	E [MPa]	R _{p0.2} [MPa]	R _m [MPa]
20	2,01E+5	275	430



Obr. 1: Souřadný systém převzatý z ČSN EN 12663–1 [1].

Výpočet vysokocyklové únavy kostry kapoty

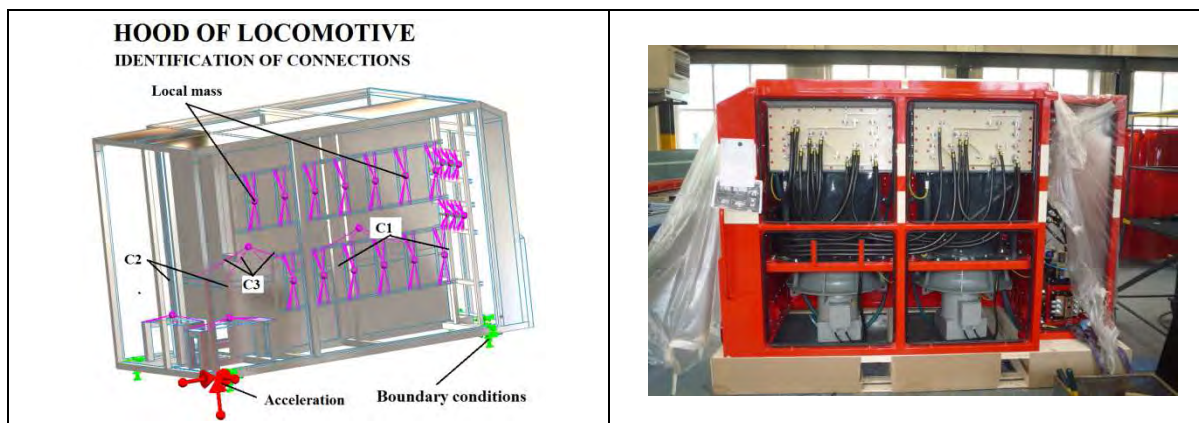
Pro vyhodnocení vysokocyklové únavy udává norma ČSN EN 12663–1 [1] maximální rozkmit zrychlení (viz Tab. 1, zatěžovací stav *LC 6+* a *LC 6-*). V normě ČSN EN 12663–1 [1] zcela chybí definice vrubových součinitelů pro běžné svarové spoje a způsob definování dovoleného rozkmitu napětí. Z těchto důvodů je vyhodnocení vysokocyklové únavy provedeno podle metodiky zakotvené v normě ČSN EN 1993-1-9 (dříve ČSN 731401) [3]. Pro vyhodnocení vysokocyklové únavy jsou veškeré spoje označeny. Označení spojů je uvedeno na Obr. 2÷Obr. 4. Spoje ve spodní části kostry kapoty jsou označeny písmenem A a v horní části písmenem B a ve střední části písmenem C.



Obr. 2: Označení spojů.

Obr. 3: Označení spojů.

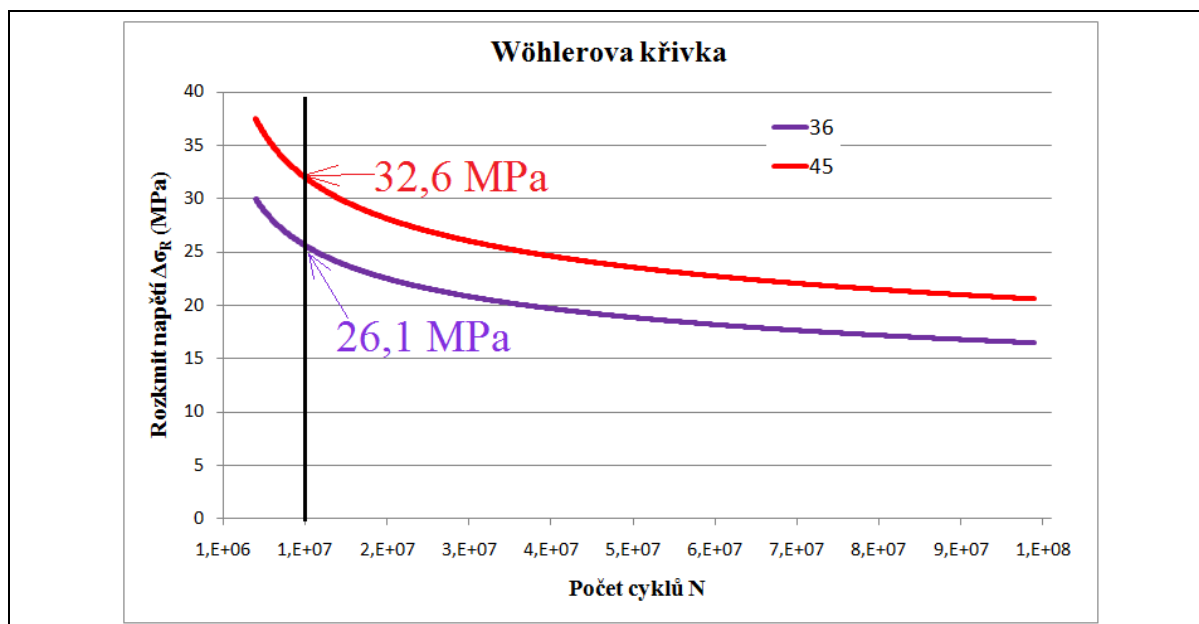
Norma ČSN EN 1993-1-9 [3] pracuje s rozkmity nominálních napětí (bez uvažování účinků koncentrace napětí). Vrubový účinek hodnoceného spoje je zohledněn v rozkmitu napětí $\Delta\sigma_R$ na Wöhlerově křivce (viz Obr. 6). Kostra kapoty je převážně svařovaná koutovými a tupými svary. Duté profily spojené koutovými svary jsou zařazeny do kategorie detailu $\Delta\sigma_c=36 \text{ MPa}$ a tupými svary do kategorie detailu $\Delta\sigma_c=45 \text{ MPa}$. Kategorie detailu $\Delta\sigma_c$ představuje únavovou pevnost pro $N=2 \cdot 10^6$ cyklů.



Obr. 4: Označení spojů.

Obr. 5: Reálná konstrukce.

Dovolený rozkmit $\Delta\sigma_D$ je v normě ČSN EN 12663–1 [1] definován jako mez únavy pro 10^7 cyklů. Hodnoty rozkmitů hlavních napětí $\Delta\sigma_R$ pro 10^7 cyklů jsou odečteny z Wöhlerovy křivky (viz Obr. 6) $\Delta\sigma_R=26,1$ MPa ($\Delta\sigma_c=36$ MPa) a $\Delta\sigma_R=32,6$ MPa ($\Delta\sigma_c=45$ MPa).



Obr. 6: Wöhlerova křivka (ČSN EN 1993-1-9 [3]) – $\Delta\sigma_c=36$ MPa a $\Delta\sigma_c=45$ MPa.

Rozkmit hlavního napětí (ΔP_1) pro dva krajní zatěžovací stavy LC 6+ a LC 6- (viz Tab. 2) musí být nižší než dovolený rozkmit $\Delta\sigma_D = \frac{\Delta\sigma_R}{\gamma_{mf}}$.

Dovolený rozkmit hlavních napětí pro kategorii detailu $\Delta\sigma_c=36$ MPa

$$\Delta\sigma_D^{36} = \frac{\Delta\sigma_R}{\gamma_{mf}} = \frac{26,1}{1,15}$$

kde

$\gamma_{mf} = 1,15$ - dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti.

$$\Delta\sigma_D^{36} = 22,7 \text{ MPa}$$

Dovolený rozkmit hlavních napětí pro kategorii detailu $\Delta\sigma_c=45 \text{ MPa}$

$$\Delta\sigma_D^{45} = \frac{\Delta\sigma_R}{\gamma_{mf}} = \frac{32,6}{1,15}$$

Kde

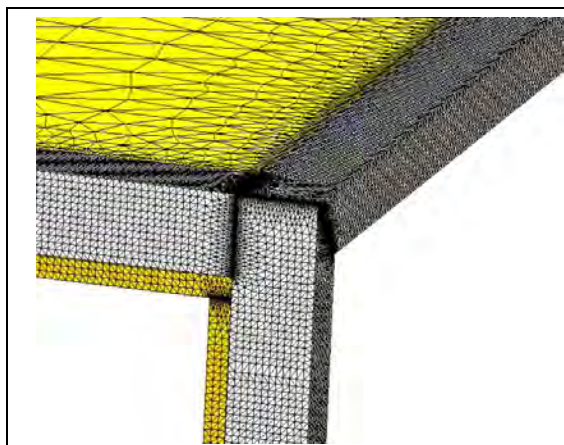
$\gamma_{mf} = 1,15$ - dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti.

$$\Delta\sigma_D^{45} = 28,3 \text{ MPa}$$

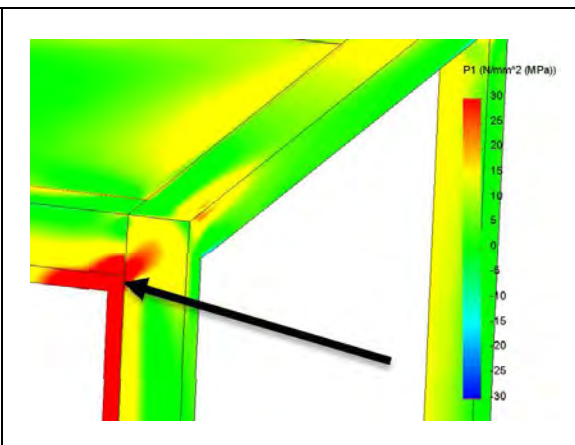
Vyhodnocení vysokocyklové únavy pro vybrané spoje

V této kapitole jsou uvedeny vybrané příklady spojů dutých profilů kostry kapoty. Označení spojů vychází z Obr. 2÷Obr. 4. Při výpočtu je uvažován maximální rozkmit zrychlení (viz Tab. 2, zatěžovací stav LC 6+ ÷ LC 6-). Pro každý svar (hrana spoje dutých profilů) je vykreslen průběh hlavního napětí P1. Rozkmit hlavního napětí mezi zatěžovací stavy LC 6+ a LC 6- (viz Tab. 2) musí být nižší než dovolená hodnota $\Delta\sigma_D^{36} = 22,7 \text{ MPa}$, nebo $\Delta\sigma_D^{45} = 28,3 \text{ MPa}$.

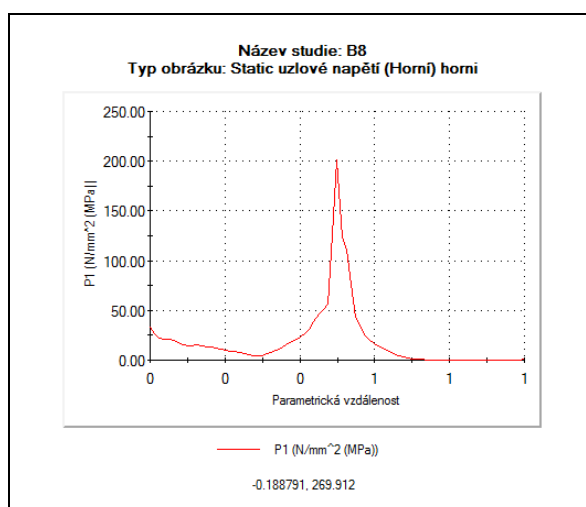
Konstrukční uzel B8



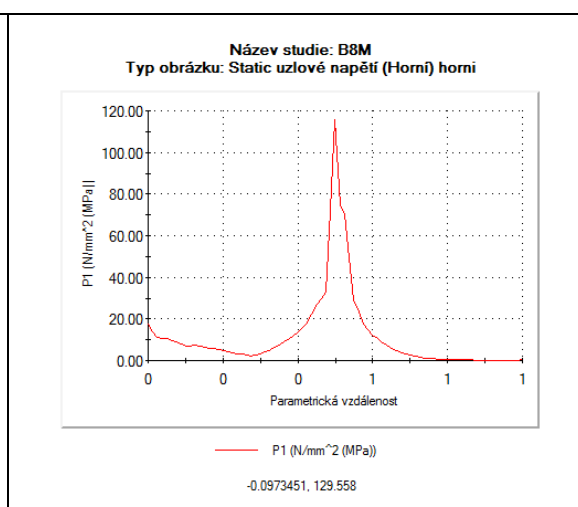
Obr. 7: Uzel B8- SÍŤ.



Obr. 8: Primárního napětí P_1 na ploše TOP – Zatěžovací stav LC 6+.



Obr. 9: Průběh primárního napětí P_1 na vybrané hraně – Zatěžovací stav LC 6+.



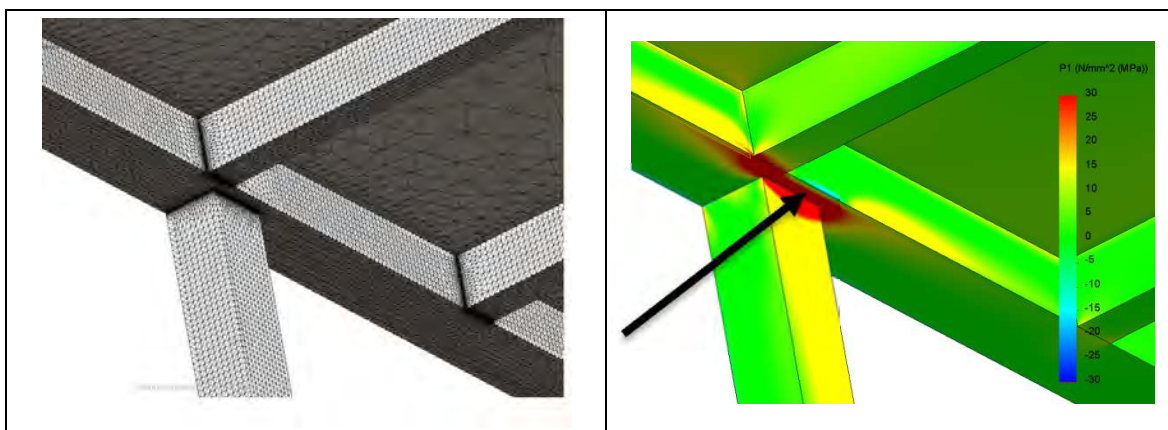
Obr. 10: Průběh primárního napětí P_1 na vybrané hraně – Zatěžovací stav LC 6-.

Podmínka vysokocyklové únavy:

$$\Delta P_1 \not\leq \Delta \sigma_D^{36} = 22,7 \text{ MPa} \quad \text{----->} \quad \text{Nevyhovuje!!!}$$

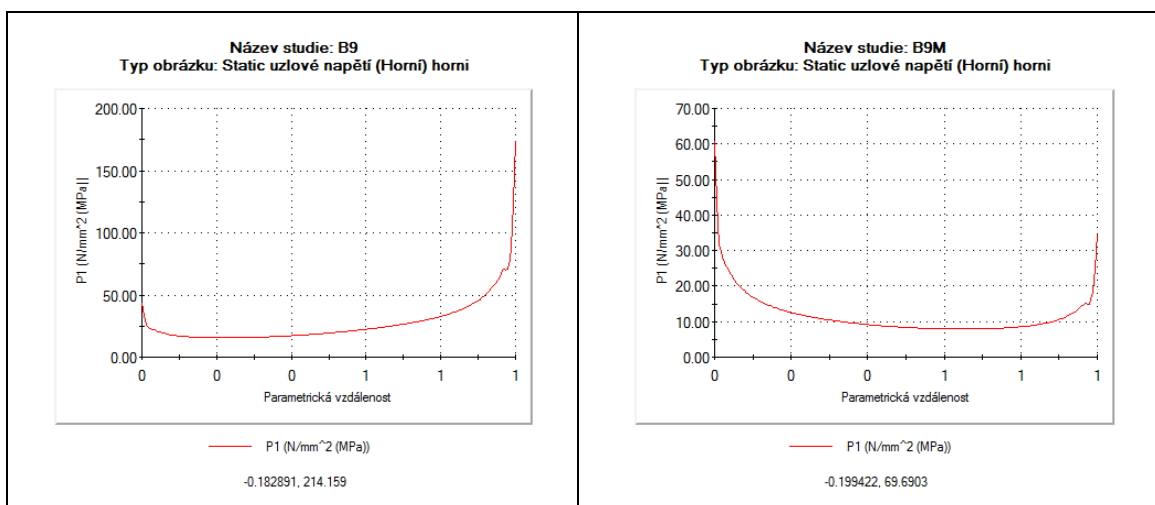
Pro přehlednost jsou u každého spoje uvedeny pouze průběhy hlavního napětí vždy pro jednu vybranou hranu. Na vybrané hraně spoje dutých profilů je dosažen nejvyšší rozkmit hlavního napětí ΔP_1 .

Konstrukční uzel B9



Obr. 11: Uzel B9- SÍŤ.

Obr. 12: Primárního napětí P_1 na ploše TOP – Zatěžovací stav LC 6+.



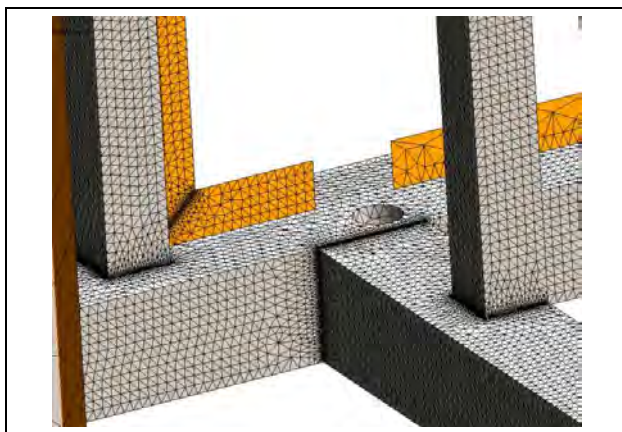
Obr. 13: Průběh primárního napětí P_1 na vybrané hraně – Zatěžovací stav LC 6+.

Obr. 14: Průběh primárního napětí P_1 na vybrané hraně – Zatěžovací stav LC 6-.

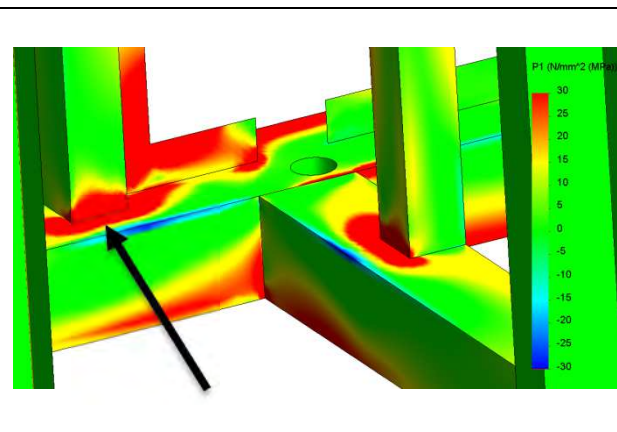
Podmínka vysokocyklové únavy:

$$\Delta P_1 \not\leq \Delta \sigma_D^{36} = 22,7 \text{ MPa} \quad \text{----->} \quad \text{Nevyhovuje!!!}$$

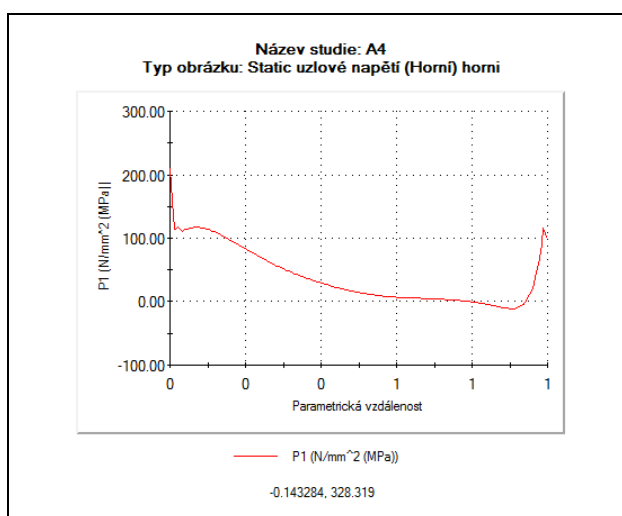
Konstrukční uzel A4



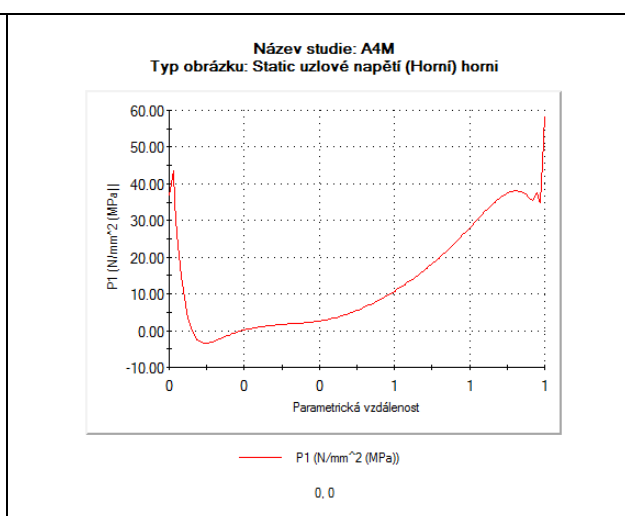
Obr. 15: Uzel A4- SÍŤ.



Obr. 16: Primárního napětí P_1 na ploše TOP – Zatěžovací stav LC 6+.



Obr. 17: Průběh primárního napětí P_1 na vybrané hraně – Zatěžovací stav LC 6+.



Obr. 18: Průběh primárního napětí P_1 na vybrané hraně – Zatěžovací stav LC 6-.

Podmínka vysokocyklové únavy:

$$\Delta P_1 \not\leq \Delta \sigma_D^{36} = 22,7 \text{ MPa} \quad \text{----->} \quad \text{Nevyhovuje!!!}$$

Vyhodnocení kontroly vysokocyklové únavy

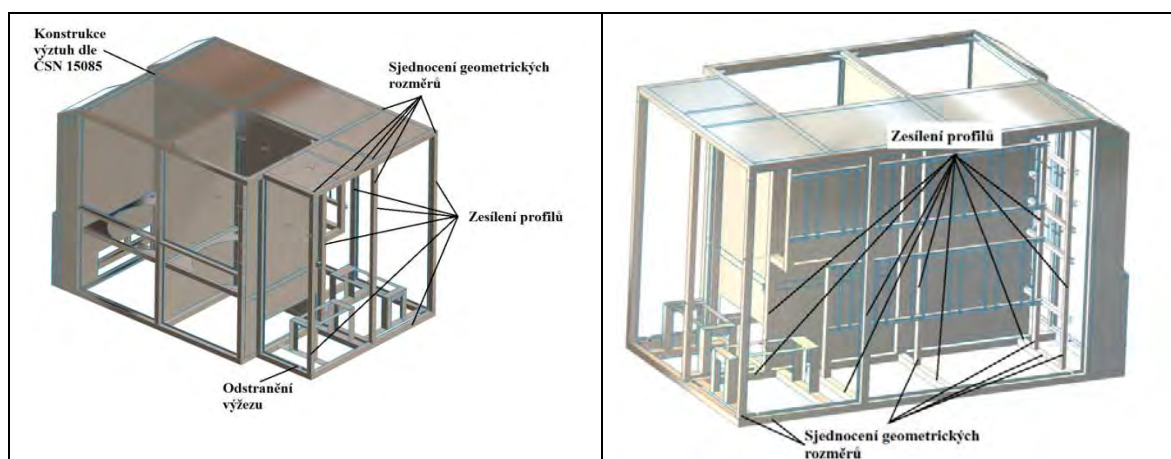
Podle výsledků uvedených v předchozí kapitole původní návrh konstrukce kostry kapoty nevyhovuje. K překročení dovoleného rozkmitu hlavního napětí dochází převážně v místech, kde konstrukce není dostatečně pevnostně dimenzována. Další problematická místa jsou zejména spoje dutých profilů o rozdílných geometrických rozměrech. Konstrukční úpravy by proto měly vést ke zvýšení únosnosti kritických míst kostry kapoty. Spoje dutých profilů o rozdílných geometrických rozměrech je třeba omezit na minimum.

Tab. 3.: Vyhodnocení vysokocyklové únavy – souhrn výsledků

Spoj - označení	Vyhodnocení	Spoj - označení	Vyhodnocení	Spoj - označení	Vyhodnocení
A1	Nevyhovuje	B1	Nevyhovuje	C1	Nevyhovuje
A2	Nevyhovuje	B2	Nevyhovuje	C2	Nevyhovuje
A3	Vyhovuje	B3	Nevyhovuje	C3	Nevyhovuje
A4	Nevyhovuje	B4	Nevyhovuje		
A5	Vyhovuje	B5	Vyhovuje		
A6	Nevyhovuje	B6	Vyhovuje		
A7	Nevyhovuje	B7	Nevyhovuje		
A8	Nevyhovuje	B8	Nevyhovuje		
A9	Nevyhovuje	B9	Nevyhovuje		
A10	Nevyhovuje	B10	Nevyhovuje		
A11	Nevyhovuje	B11	Vyhovuje		
A12	Nevyhovuje	B12	Nevyhovuje		
A13	Nevyhovuje				

Návrh konstrukčních úprav ke zvýšení únosnosti (viz Obr. 19 a Obr. 20)

- Vyztužení dutých profilů kostry kapoty (zesílení tloušťky, změna geometrických rozměrů profilu, apod.).
- Sjednocení geometrických rozměrů dutých profilů. Pro celou konstrukci použít pouze jeden profil.
- Při konstrukci kostry kapoty jsou použity L - profily. Tyto profily působí jako výztužná žebra. V místech spojení dvou L – profilů vznikají ostré hrany. Tyto ostré hrany (vruby) je nutné odstranit např. svarem.
- Tvar výztuh je nutné volit v souladu s normou ČSN EN 15085 [4].
- Změna typu svarových spojů na svary s plným průvarem kořene.
- Svarové spoje na exponovaných místech vybrousit v souladu s normou ČSN EN 15085 [4].



Obr. 19: Návrh konstrukčních úprav - únava

Obr. 20: Návrh konstrukčních úprav - únava

Závěr

Cílem tohoto článku bylo vyhodnocení vysokocyklové únavy kostry kapoty železniční lokomotivy. Pro kontrolu vysokocyklové únavy kostry kapoty byly použity metodiky zakotvené v ČSN EN 12663–1 [1] a ČSN EN 1993-1-9 [3]. Metodika uvedená v předpisu ČSN EN 12663–1 [1] udává pouze maximální rozkmit zrychlení. Definice vrubových součinitelů pro běžné svarové spoje a způsob definování dovoleného rozkmitu napětí zde není uveden. Vyhodnocení vysokocyklové únavy bylo proto provedeno pomocí metod současné vědy a techniky. Dovolené rozkmit napětí a součinitele vrubů byly stanoveny na základě metodiky zakotvené v ČSN EN 1993-1-9 [3]. Norma ČSN EN 1993-1-9 [3] pracuje s rozkmity nominálních napětí. Vrubový účinek hodnoceného spoje je zohledněn v rozkmitu napětí $\Delta\sigma_R$ na Wöhlerově křivce. V závěru článku jsou uvedeny doporučené konstrukční úpravy, které vychází z výsledků kontroly vysokocyklové únavy.

LITERATURA

- [1] ČSN EN 12663 - 1. Železniční aplikace – Pevnostní požadavky na konstrukce skříní kolejových vozidel- Část 1: Lokomotivy a vozidla osobní dopravy. Česká technická norma. Český normalizační institut, Říjen 2010.
- [2] FEM Computer program COSMOSWorks 2010 - Advanced Professional. SolidWorks Corporation.
- [3] ČSN EN 1993 (dříve ČSN 73 1401). Navrhování ocelových konstrukcí. Česká technická norma. Český normalizační institut, 1998.
- [4] ČSN EN 15085-3. Železniční aplikace – Svařování železničních kolejových vozidel a jejich částí – Část 3: Konstrukční požadavky. Česká technická norma. Český normalizační institut, Duben 2008.

Tato práce vznikla v rámci projektu POSTA (CZ.1.07/2.4.00/17.0107)