



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO**  
**INŽENÝRSTVÍ**  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## **RÁM KOČKY 330 T MOSTOVÉHO LICÍHO JEŘÁBU**

FRAME OF FOUNDRY TROLLEY CRANE 330 T

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. MAREK OTEVŘEL**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. PŘEMYSL POKORNÝ, Ph.D.**

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Akademický rok: 2014/15

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Marek Otevřel

kteřý/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Automobilní a dopravní inženýrství (2301T038)**

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

### **Rám kočky 330 t mostového licího jeřábu**

v anglickém jazyce:

### **Frame of foundry trolley crane 330 t**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Proveďte deformačně napjatostní analýzu rámu kočky mostového licího jeřábu o nosnosti 330t dle normy ČSN EN 13001. K posouzení použijte prutový a skořepinový model.

Cíle diplomové práce:

Vypracujte technickou zprávu obsahující zejména:

- kontrolu pevnosti stávajícího stavu dle ČSN EN 13001
- proveďte kontrolu únavové pevnosti

Seznam odborné literatury:

1. ČSN EN 13001-1+A1. "Jeřáby - Návrh všeobecně - Část 1: Základní principy a požadavky"
2. ČSN EN 13001-2. "Jeřáby - Návrh všeobecně - Část 2: Účinky zatížení"
3. ČSN EN 13001-3-1+A1. "Jeřáby - Návrh všeobecně - Část 3-1: Mezní stavy a prokázání způsobilosti ocelových konstrukcí"
4. REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F.: Jeřáby, 2., přeprac. a dopln. vyd., SNTL Praha, 1975
5. ZIMMERMANN, S., ZIMMERMANN, B.: Krane - Beschaffenheit, Ausbildung, Einsatz. Verlag Dr. Ingo Resch GmbH 2003. ISBN 3-930039-31-1

Vedoucí diplomové práce: Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 4.11.2014



\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.  
Ředitel ústavu

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Jaroslav Katoňický, Ph.D.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Tématem této diplomové práce je rám jeřábové kočky mostového liciho jeřábu o nosnosti 330/65/20t. Jeřábová kočka slouží k manipulaci s roztaveným kovem. Rám je analyzován pevnostní kontrolou a kontrolou únavové pevnosti. Postup je dle normy ČSN EN 13001. Výpočet je proveden metodou konečných prvků na prutovém a skořepinovém modelu. Diplomová práce byla vytvořena ve spolupráci s firmou Královopolská a.s.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Rám kočky, lici jeřáb, mostový jeřáb, metoda konečných prvků, skořepinový model, prutový model, pevnostní výpočet, výpočet únavové pevnosti.

## **ABSTRACT**

The topic of this diploma thesis is the frame of the foundry trolley crane 330/65/20t. The crane crab is used for handling with molten metal. The frame is analyzed by strength inspection and fatigue strength inspection. The process is according to ČSN EN 13001. The analyses are made by using finite element method on a beam and shell models. The diploma thesis was made in cooperation with the Královopolská a.s. company.

## **KEYWORDS**

Crab frame, foundry crane, bridge crane, finite element method, shell model, beam model, strength analysis, fatigue strength analysis.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

OTEVŘEL, M. *Rám kočky 330 t mostového liciho jeřábu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 74 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D. vedoucího diplomové práce.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 29. května 2015

.....

Bc. Marek Otevřel



## PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat za rady a směřování, při vypracovávání této diplomové práce, vedoucímu práce Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D. Další poděkování patří panu Ing. Pavlu Kolářovi z fy. Královoposlká a.s. za rady a materiály potřebné k vypracování této diplomové práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mé rodině a mým blízkým za podporu při studiu.



## OBSAH

Úvod .....	11
1 Parametry a popis jeřábu .....	12
1.1 Popis pracovního prostředí a charakteristika jeřábu .....	12
1.2 Základní údaje jeřábu.....	13
1.3 Parametry a popis jeřabové kočky 330t.....	13
1.3.1 Konstrukce jeřabové kočky .....	14
1.3.2 Zdvihové ústrojí jeřabové kočky 330t.....	15
1.3.3 Pojezd jeřabové kočky 330t.....	16
1.4 Základní parametry a popis pojezdu mostu licího jeřábu .....	17
1.5 Určení druhu a četnosti zatěžování jeřábu, historie napětí .....	18
1.6 Konstrukce a rozmístění komponent na rámu kočky.....	19
1.7 Lanování a závěsná traverza .....	21
1.8 Vlastnosti použitých materiálů na rámu kočky.....	21
2 Tvorba výpočtových modelů .....	23
2.1 Prutový model .....	23
2.2 Skořepinový model .....	25
2.3 Náhrada uložení pojezdových kol.....	26
2.3.1 Prutový model .....	26
2.3.2 Skořepinový model.....	26
2.4 Náhrada vybavení kočky .....	27
2.4.1 Prutový model .....	27
2.4.2 Skořepinový model.....	27
2.5 Náhrada lanového bubnu .....	28
2.5.1 Prutový model .....	28
2.5.2 Skořepinový model.....	29
2.6 Náhrada horních kladnic .....	29
2.6.1 Prutový model .....	29
2.6.2 Skořepinový model.....	29
2.7 Náhrada nosné traverzy .....	29
3 Výpočet zatížení jeřabové kočky.....	31
3.1 Pravidelná zatížení .....	31
3.1.1 Dynamický součinitel pro zdvihání a pro účinky tíhy, které působí na hmotnost jeřábu 31	
3.1.2 Dynamický součinitel pro účinky setrvačnosti a tíhy při zdvihání ležícího břemena31	





3.1.3	Náhlé uvolnění části břemena zdvihu.....	33
3.1.4	Zatížení způsobená pojezdem po nerovném povrchu.....	33
3.1.5	Zatížení způsobená zrychlením pohonů .....	34
3.2	Občasná zatížení .....	34
3.2.1	Zatížení způsobená větrem za provozu .....	34
3.2.2	Zatížení sněhem a námrazou .....	34
3.2.3	Zatížení způsobená přičením .....	34
3.3	Výjimečná zatížení .....	39
3.3.1	Zatížení při zdvihání volně ležícího břemena při použití maximální rychlosti zdvihání	39
3.3.2	Zatížení způsobená větrem mimo provoz.....	39
3.3.3	Zatížení při zkouškách.....	39
3.3.4	Zatížení způsobená silami na nárazníky .....	39
3.4	Zatěžovací stavy .....	41
3.4.1	Hmotnost jeřábové kočky – ZS1 .....	41
3.4.2	Hmotnost břemene – ZS2 .....	42
3.4.3	Zrychlení od pohonu kočky - ZS3 .....	42
3.4.4	Zrychlení od pohonu mostu jeřábu - ZS4 .....	42
3.4.5	Zatížení přičením - ZS5 .....	42
3.4.6	Zatížení nárazem na nárazníky – ZS6 .....	42
3.5	Okrajové podmínky .....	42
3.5.1	Okrajové podmínky pro pojezd .....	42
3.5.2	Okrajové podmínky pro náraz .....	43
3.5.3	Okrajové podmínky pro přičení.....	43
3.6	Kombinace zatížení.....	43
3.6.1	Kombinace zatížení A .....	44
3.6.2	Kombinace zatížení B.....	45
3.6.3	Kombinace zatížení C.....	46
3.6.4	Únavová pevnost – kombinace zatížení A .....	48
3.6.5	Sumarizace a zadávání zatížení do výpočtového programu .....	49
3.6.6	Výběr nejnejpříznivějších zatížení pro analýzu pojezdu po třech podvozcích....	51
4	Vyhodnocení výsledků .....	53
4.1	Kombinace zatížení.....	53
4.1.1	Kombinace zatížení L0 .....	53
4.1.2	Kombinace zatížení L1 ÷ L4 .....	54
4.1.3	Kombinace zatížení L5 .....	56
4.1.4	Kombinace zatížení L10 a L11 .....	57



4.1.5	Kombinace zatížení L18 a L19.....	58
4.1.6	Kombinace zatížení L20 a L21.....	59
4.2	Únavová pevnost.....	60
4.2.1	Průřez 1 – Hlavní nosník N1 .....	62
4.2.2	Průřez 2 – Příčnick P.....	63
4.2.3	Průřez 3 – Vnitřní nosník 1 .....	64
4.3	Další zatížení.....	65
4.3.1	Kombinace zatížení L31 ÷ L34 .....	65
4.3.2	Kombinace zatížení L35 ÷ L38 .....	66
4.4	Zhodnocení výsledků .....	68
	Závěr.....	69
	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	71
	Seznam příloh.....	74



## ÚVOD

Jeřáb je zdvihací zařízení, kterým se přemisťují břemena svislým a vodorovným pohybem na vymezené vzdálenosti, tak zní definice z normy ČSN 27 0140. Tento popis je naprosto výstižný pro formální vysvětlení slova jeřáb. Tyto stroje se dle normy ISO 4306-1 třídí podle několika kritérií. Pro příklad může být uvedeno rozdělení [8]: podle konstrukce, prostředku pro uchopení břemene, druhu pohonu, způsobu ovládání atd. Jeřáby prošly od dob jejich vzniku velkou modernizací. Z ručních pohonů se přešlo na elektrické pohony, z manuálního ovládání na možnost plně automatického ovládání.

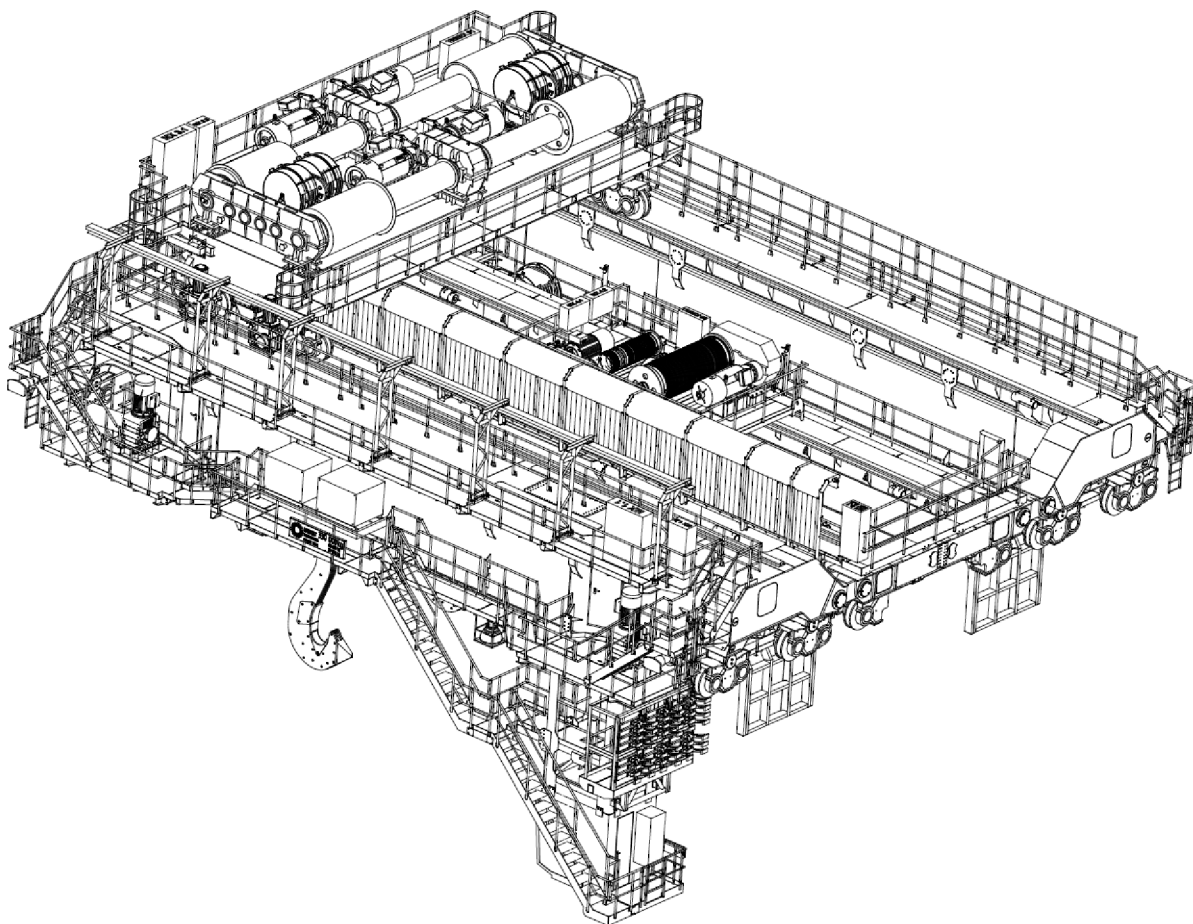
Základní prvky jeřábů ovšem zůstávají stejné, jen jejich vlastnosti či konstrukce se mění. Pokud se zaměříme na mostové jeřáby, tak se vždy skládají z jednoho nebo více nosníků, jednoho či více párů příčníků, pojezdových mechanismů a zdvihové jednotky (podvěsný kladkostroj, jeřábová kočka). V dnešní době se pro potřebu efektivnějšího navrhování konstrukce jeřábů používá s oblibou výpočtových softwarů, které pracují na principu metody konečných prvků.

Předmětem této práce je napjatostní analýza rámu kočky mostového liciho jeřábu. Tato analýza se skládá z kontroly pevnosti stávajícího stavu a kontroly únavové pevnosti dle ČSN EN 13001. Výpočet je proveden metodou konečných prvků. Touto metodou lze dosáhnout reálných výsledků i na značně geometricky složitých konstrukcích, mezi které analyzovaná kočka patří. Dosahuje se výsledků, které jsou velmi blízké reálnému chování konstrukce v provozu. Software k výpočtu výše zmíněnou metodou se nazývá NX I-deas 6.1. K porovnání výsledků jsou vytvořeny dva modely a to prutový a skořepinový.



# 1 PARAMETRY A POPIS JEŘÁBU

Tato kapitola se zabývá parametry jeřábu, kterými se jeřáb vyznačuje. Dle těchto parametrů je proveden výpočet a přiřazovány koeficienty do výpočtů. Nedílnou součástí těchto kritérií je také popis prostředí jeřábu, ve kterém bude používán. Tyto podmínky a parametry se vztahují jeřábovou kočku, ale i také na celý jeřáb, jelikož výpočet zahrnuje podmínky jeřábu jako celku v některých zatěžovacích stavech.



*Obr. 1 Mostový lici jeřáb 330t [12]*

## 1.1 POPIS PRACOVNÍHO PROSTŘEDÍ A CHARAKTERISTIKA JEŘÁBU

Předmětem práce je napjatostní analýza rámu kočky mostového liciho jeřábu. Tato analýza se skládá z kontroly pevnosti stávajícího stavu dle ČSN EN 13001 a kontroly únavové pevnosti dle ČSN EN 13001.

Výrobcem jeřábu je firma KRÁLOVOPOLSKÁ, a.s. a zákazníkem je ArcelorMittal Ostrava a.s. Mostový lici jeřáb se skládá ze dvou jeřábových koček. Nosnost hlavní posuzované kočky je 330t. Kočka je určena k převážení pánve s tekutým kovem a pro zavážení pecí. Pomocná kočka se skládá ze dvou zdvihů, a to 65t a 20t. Nosnost 65t se používá převážně k vyklápení pánve. Nosnost 20t slouží k další manipulaci a údržbářským činnostem haly apod. Jeřáb pojíždí mezi stávajícími jeřáby na společné dráze. Jeřáb bude pracovat v teplotních podmínkách od  $-25^{\circ}\text{C}$  do  $+65^{\circ}\text{C}$  v kryté hale v bezvětrných podmínkách. Ovládání jeřábu je provedeno z klimatizované kabiny, která je umístěna pod mostem jeřábu.



## 1.2 ZÁKLADNÍ ÚDAJE JEŘÁBU

Tab. 1 Základní údaje jeřábu

Parametr	Hodnota
Nosnost hlavní kočky	330t
Nosnost pomocné kočky 1	65t
Nosnost pomocné kočky 2	20t
Rozpětí jeřábu	21m
Rozchod jeřábové kočky	12m
Rozvor jeřábové kočky	3,3m
Zdvih hlavní kočky	17 355mm
Hmotnost jeřábové kočky	167t
Celková hmotnost jeřábu	468t

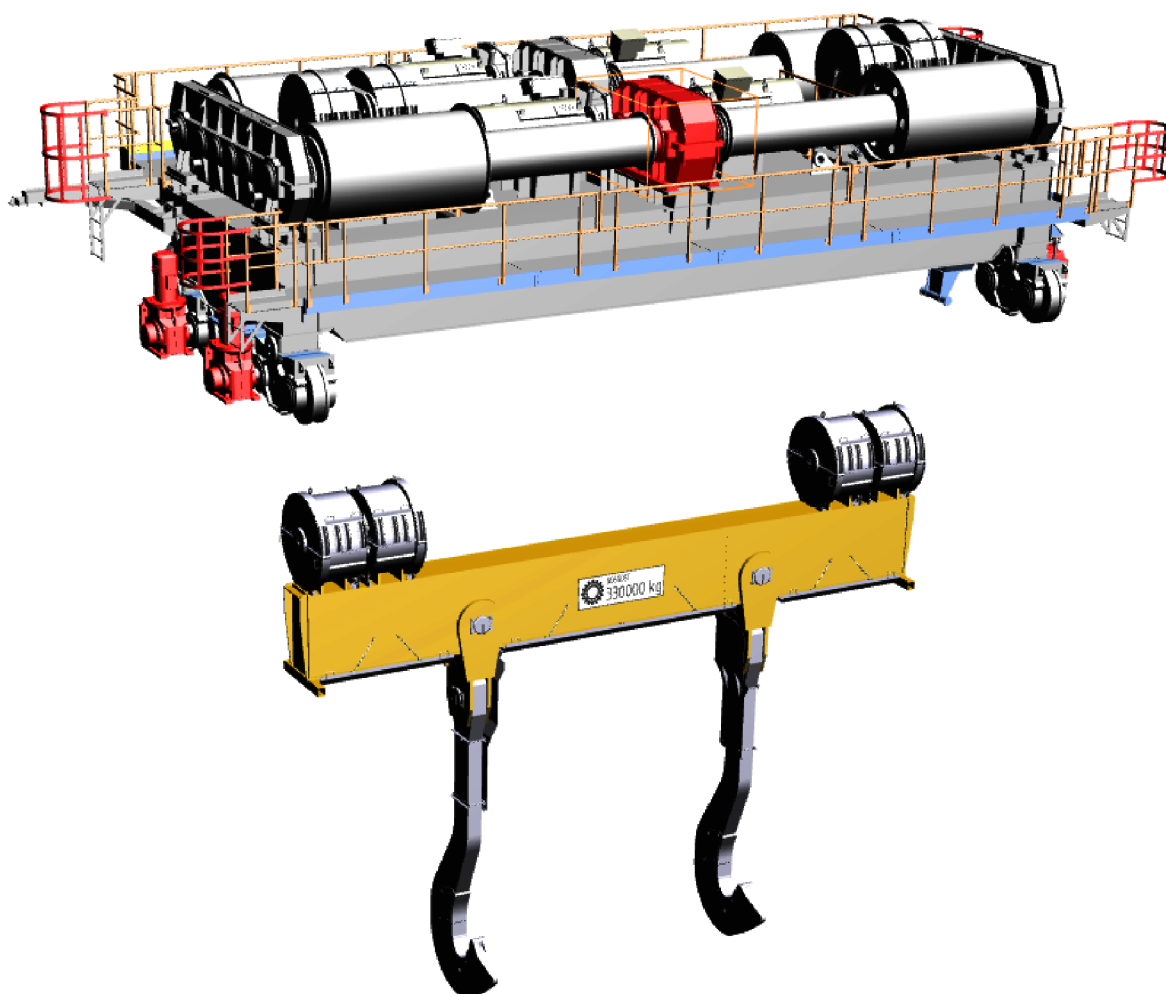
Tab. 2 Klasifikace pojezdových a zdvihacích mechanismů dle ČSN ISO 4301-1[7]

Parametr	Hodnota
Klasifikace jeřábu	A8
Pojezd jeřábu	M8
Zdvih hlavní kočky 330t	M8
Zdvih 1 pomocné kočky 65t	M7
Pojezd kočky 330t	M7

## 1.3 PARAMETRY A POPIS JEŘÁBOVÉ KOČKY 330T

Tab. 3 Parametry jeřábové kočky

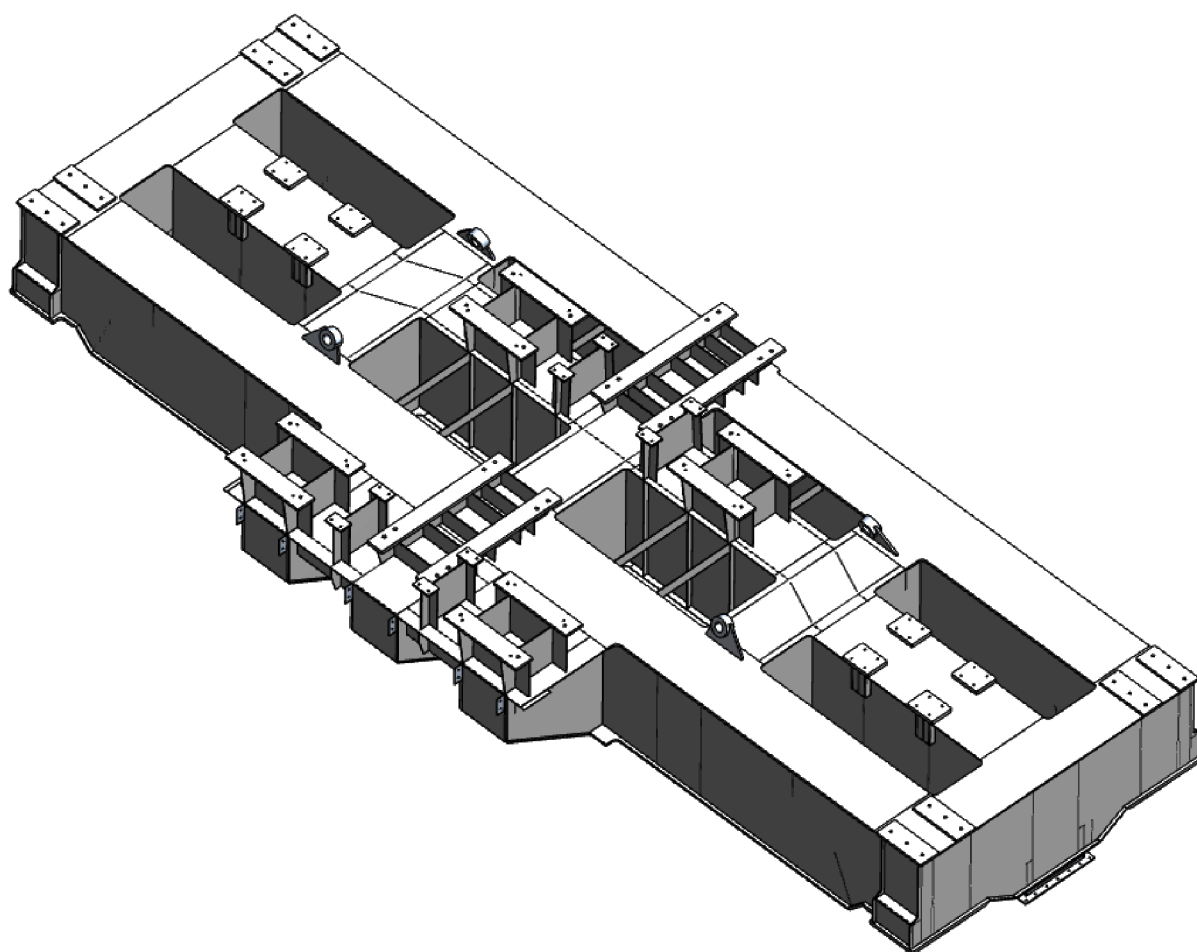
Parametr	Hodnota
Klasifikace jeřábu	A8
Pojezd jeřábu	M8
Zdvih hlavní kočky 330t	M8
Zdvih 1 pomocné kočky 65t	M7
Pojezd kočky 330t	M7



Obr. 2 Jeřábová kočka

### 1.3.1 KONSTRUKCE JEŘÁBOVÉ KOČKY

Jeřábová kočka je sestavena z rámu, pojezdů a zdvihového ústrojí 330t. Rám je tvořen dvěma hlavními nosníky a dvěma hlavními příčnicí. Dále se rám skládá z vnitřního nosníku rozděleného na čtyři části a třech vnitřních příčnic. Konstrukce těchto prvků je tvořena ze svařovaných krabicových nosníků, které jsou z ocelových plechů a válcovaných profilů převážně o jakosti S355J2+N. Celá konstrukce je svařovaná a tvoří tuhý celek. K rámu jsou přivařeny stoličky a plochy pro umístění jednotlivých mechanismů a sestav. Horní plocha rámu je uzpůsobena jako plošina, kolem které je v potřebném rozsahu zábradlí s okopovými lištami. Rám kočky je opatřen výstupem na kočku z průchozí plošiny jeřábu. Ocelová konstrukce je klasifikována dle ISO 4301[7] do kategorie A8 (U6, Q3).



Obr. 3 Rám jeřábové kočky

### 1.3.2 ZDVIHOVÉ ÚSTROJÍ JEŘÁBOVÉ KOČKY 330T

Zdvihové ústrojí jeřábové kočky 330t je připevněno na rámu kočky. Toto zdvihové ústrojí se skládá ze dvou propojených částí. Každá část je poháněna dvěma elektromotory – Siemens 1PQ8 355-8PB50-Z. Motory jsou řízeny pomocí frekvenčních měničů. Každý motor je dále spojen pružnou brzdovou spojkou na vstup centrální převodové skříně. Pružná brzdová spojka přenáší kroutící moment pomocí pryžových kroužků. Každá spojka je brzděna brzdou zdvihu SIBRE TEc 500/201/6c. Všechny brzdy pracují společně a v souladu s frekvenčními měniči. Na výstupech z centrálních převodovek jsou přes speciální zubové spojky připojeny lanové bubny. Bubny jsou na druhých koncích propojeny pomocí převodových skříní. V případě poruchy jednoho z motorů či měničů je umožněna činnost pomocí zbylých třech jednotek. Tento poruchový stav jsou zbylé tři funkční motory a měniče schopni zvládat zdvih o nominální rychlosti až do doby opravy. Měníče frekvence jsou nastaveny na čtyři rychlostní stupně zdvihu.

Zatížení všech jednotek při normálním pracovním režimu je 75%. Lanové bubny o průměru Ø1300mm jsou osazeny čtyřmi lany. Vypadnutí lana z lanových drážek bubnu a lanových kladek je zajištěno pomocí krytů těchto kladek. Na lanovém bubnu, po dosažení nejnižší polohy zdvihu, zůstávají dva neodmotané závity lana. Spodní lanové kladky jsou připevněny na traverzu s lamelovými háky. Lanové kladky jsou dvojího průměru a to Ø1120mm Ø1250mm. Lamelové háky jsou asymetrické s bezpečnostními nosy. Rozteč háku je 4,9m.



Tato traverza s lamelovými háky je stálým břemenem kočky. Jeřábová kočka je vybavena vážením, které je umístěno pod rámem horních lanových kladek. Přesnost vážení je 0,5%. Příslušenstvím zdvihu jsou koncové vypínače zdvihu a pojistka proti přetížení.

Všechny převodové skříně zdvihu jsou uzavřené. Náplní je olej. Konstrukce skříní je svařovaná, následně žíhaná a obráběná. Těsnění skříní v jejich dělicích rovinách je tvořeno tmelem a vzájemná poloha těchto dvou částí je zajištěna kuželovými kolíky. Skříně jsou vybaveny olejovou měrkou. Vypouštění oleje ze skříní je zajištěno pomocí výpustného potrubí a uzavíracím kohoutem. Centrální převodové skříně jsou vybaveny čidly vibrací a měření teploty oleje. Pomocí šroubů jsou převodovky připevněny ke stoličkám na rámu kočky.

Tab. 4 Parametry zdvihu kočky

Parametr	Hodnota
Rozsah zdvihu	17 355mm
Rychlost zdvihu (330t)	1÷8 m.min <sup>-1</sup>
Rychlost zdvihu (max 100t)	1÷12 m.min <sup>-1</sup>
Zrychlení zdvihu	0,15 m.s <sup>-2</sup>
Příkon motorů	4 x 250 kW

### 1.3.3 POJEZD JEŘÁBOVÉ KOČKY 330T

Pojezd jeřábové kočky se skládá ze čtyř podvozků. Každý podvozek je tvořen dvěma kovanými koly s oboustrannými nákolky, které vedou jeřábovou kočkou po dráze. Na každém podvozku je jedno kolo hnané a jedno hnací. Dráhou je kolejnice A 120, která je přivařena na nosníky mostu jeřábu.

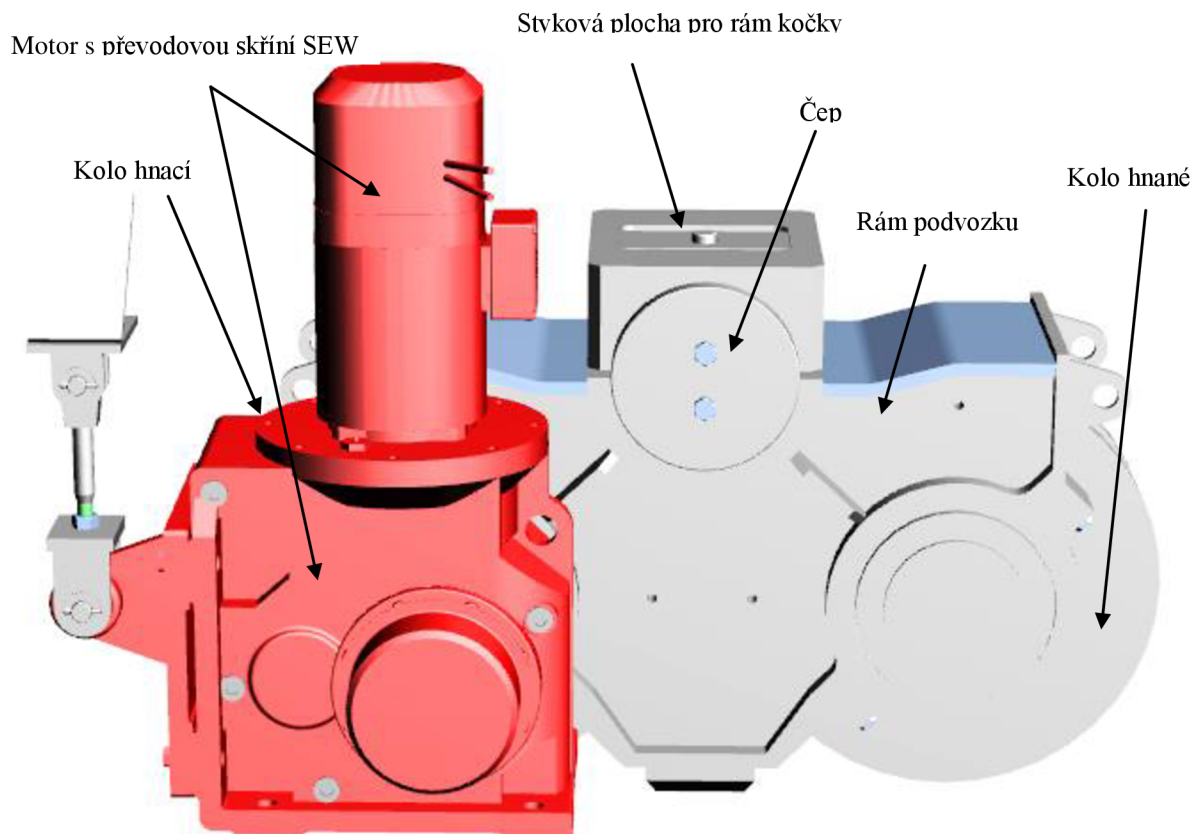
Pohon pojezdu jeřábové kočky je tvořen čtyřmi samostatnými jednotkami. Tyto jednotky jsou asynchronní motory s kotvou na krátko a vestavěnou brzdou s možností ručního odbrzdění. Motory jsou navrženy a dimenzovány tak, aby při poruše jednoho z nich byla kočka schopna dosáhnout jmenovité rychlosti pojezdu.

Motory SEW KH157T DRE180M4BE20HR/TH/AL/C/DUB s kuželočelními převodovkami SEW KH157-T jsou řízeny frekvenčními měniči. Pojezd jeřábové kočky je dále vybaven koncovými vypínači. Součástí kočky jsou pružné nárazníky GR-SK63/100-So, které mechanicky omezují její dojezd.

Tab. 5 Parametry pojezdu kočky

Parametr	Hodnota
Rychlost pojezdu kočky	2,5÷25 m.min <sup>-1</sup>
Zrychlení pojezdu kočky	0,15 m.s <sup>-2</sup>
Příkon motorů	4 x 15 kW





Obr. 4 Pojezdové ústrojí kočky

#### 1.4 ZÁKLADNÍ PARAMETRY A POPIS POJEZDU MOSTU LICÍHO JEŘÁBU

Mostový licí jeřáb je umístěn v hale a pojíždí mezi stávajícími jeřáby na společné dráze. Jeřábový most je tvořen dvěma hlavními a dvěma vnitřními nosníky. Nosníky jsou svařované z plechů a upravených válcovaných polotovarů. Konstrukce je vzhledem ke komplikovanému převozu rozebíratelná. Každý nosník je samostatný. Jeřáb se skládá ze tří příčníků, na každé straně mostu, které jsou vzájemně spojeny pomocí rozebíratelných spojů.

Pojezd mostu jeřábu je ze čtyř podvozků o dvou kolech a dvou podvozků o jednom kole na každé straně mostu. Hnané podvozky jsou dva na každé straně a jsou to vždy krajní podvozky. Pohon je tedy tvořen pomocí 4 motorů s převodovkami SEW. Pohon je řízen frekvenčními měniči. Dalším vybavením jsou antikolizní zařízení pro oba směry pohonu jeřábu. Rozvaděče pro elektroinstalaci jsou umístěny uvnitř krajního hlavního nosníku, který je z důvodu vysoké vyzařující teploty z frekvenčních měničů klimatizován.

Tab. 6 Parametry pojezdu mostu

Parametr	Hodnota
Rychlost pojezdu mostu	6,5÷65 m.min <sup>-1</sup>
Zrychlení pojezdu mostu	0,2 m.s <sup>-2</sup>
Příkon motorů	4 x 55 kW



## 1.5 URČENÍ DRUHU A ČETNOSTI ZATĚŽOVÁNÍ JEŘÁBU, HISTORIE NAPĚTÍ

Dle následujícího výpočtu se určí historie napětí. Pomocí parametru napětí  $s_m$  se je přiřazená třída historie napětí  $S$ . Po zjištění tohoto parametru se volí návrhový rozkmit napětí únosnosti zjednodušenou metodou založenou na použití třídy  $S$ . Tato metoda spočívá v tom, že se pomocí třídy  $S$  dle tabulky 11[5](str. 41). určí hodnota parametru  $s_3$ . Dále se pomocí tohoto parametru vypočítá návrhový rozkmit napětí únosnosti dle vzorce 37[5](str. 42).

### Maximální břemeno

$$Q = 330 \text{ t} \quad (1)$$

### Celkový počet zatěžování během životnosti jeřábu

$$N_t = 2 \cdot 10^6 \text{ cyklů} \quad (2)$$

### Frekvence výskytu cyklů zatížení

$$\Delta Q_1 = 1,0 \cdot 330 = 330 \text{ t} \dots 20\% \rightarrow n_1 = 0,2 \cdot 2 \cdot 10^6 = 0,4 \cdot 10^6 \quad (3)$$

$$\Delta Q_2 = 0,8 \cdot 330 = 264 \text{ t} \dots 40\% \rightarrow n_2 = 0,4 \cdot 2 \cdot 10^6 = 0,8 \cdot 10^6 \quad (4)$$

$$\Delta Q_3 = 0,26 \cdot 330 = 85,8 \text{ t} \dots 30\% \rightarrow n_3 = 0,3 \cdot 2 \cdot 10^6 = 0,6 \cdot 10^6 \quad (5)$$

$$\Delta Q_4 = 0,0 \cdot 330 = 0 \text{ t} \dots 10\% \rightarrow n_4 = 0,1 \cdot 2 \cdot 10^6 = 0,2 \cdot 10^6 \quad (6)$$

$$N_t = \sum_i n_i = (0,4 + 0,8 + 0,6 + 0,2) \cdot 10^6 \quad (7)$$

### Součinitel spektra

$$k_m = \sum_i \left( \frac{\Delta Q_i}{\Delta Q} \right)^m \cdot \frac{n_i}{N_t} \quad (8)$$

$$k_m = \left( \frac{330}{330} \right)^3 \cdot \frac{0,4}{2} + \left( \frac{264}{330} \right)^3 \cdot \frac{0,8}{2} + \left( \frac{85,8}{330} \right)^3 \cdot \frac{0,6}{2} + \left( \frac{0}{330} \right)^3 \cdot \frac{0,2}{2} = 0,41 \quad (9)$$

### Relativní celkový počet výskytů rozkmitu napětí

$$v = \frac{N_t}{N_{ref}} = \frac{2 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} = 1 \quad (10)$$

### Parametr historie napětí

$$s_m = v \cdot k_m = 1 \cdot 0,41 = 0,41 \quad (11)$$

Dle tabulky 10 v normě 13001-3-1+A1[5] na straně 40 je dle hodnoty parametru historie napětí  $s_3$  je historie napětí zařazena do třídy **S6**.



### Konstanta sklonu $m$

Konstanta sklonu je uvažována o hodnotě  $m=3$  dle obrázku 8 v [5](str. 36).

### Návrhový rozkmit napětí

Návrhový rozkmit závisí na typu konstrukce. Dle tabulky D.3 v [5] (str. 75) určíme typ konstrukce a zjistíme charakteristickou hodnotu rozkmitu napětí. Kontrolovaná konstrukce se skládá ze skříňových nosníků s příčně přivařenými výztuhami. Používané svary jsou oboustranné koutové se stupněm kvality B. Pro tento typ konstrukce a sváru je  $\Delta\sigma_c = 100\text{MPa}$ .

Dalším krokem je určení dílčího součinitele spolehlivosti únavové pevnosti  $\gamma_{mf}$ , který je definován v tabulce 9 [5] (str. 35). Hodnota tohoto koeficientu byla zvolena 1,25, jelikož dle kritérií spadá do skupiny „Nebezpečných“ konstrukčních částí s nebezpečím pro osoby se špatným přístupem k detailům spoje.

Dle tabulky 11 [5] (str. 41) podle zařazení třídy historie napětí S6 je hodnota  $s_3 = 0,5$ . Tato hodnota je horní hranice rozsahu v tabulce 10 [5] (str. 40).

$$\Delta\sigma_{Rd} = \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{mf} \cdot \sqrt[3]{s_3}} = \frac{100}{1,25 \cdot \sqrt[3]{0,5}} = \mathbf{100,8\text{ MPa}} \quad (12)$$

Kde:

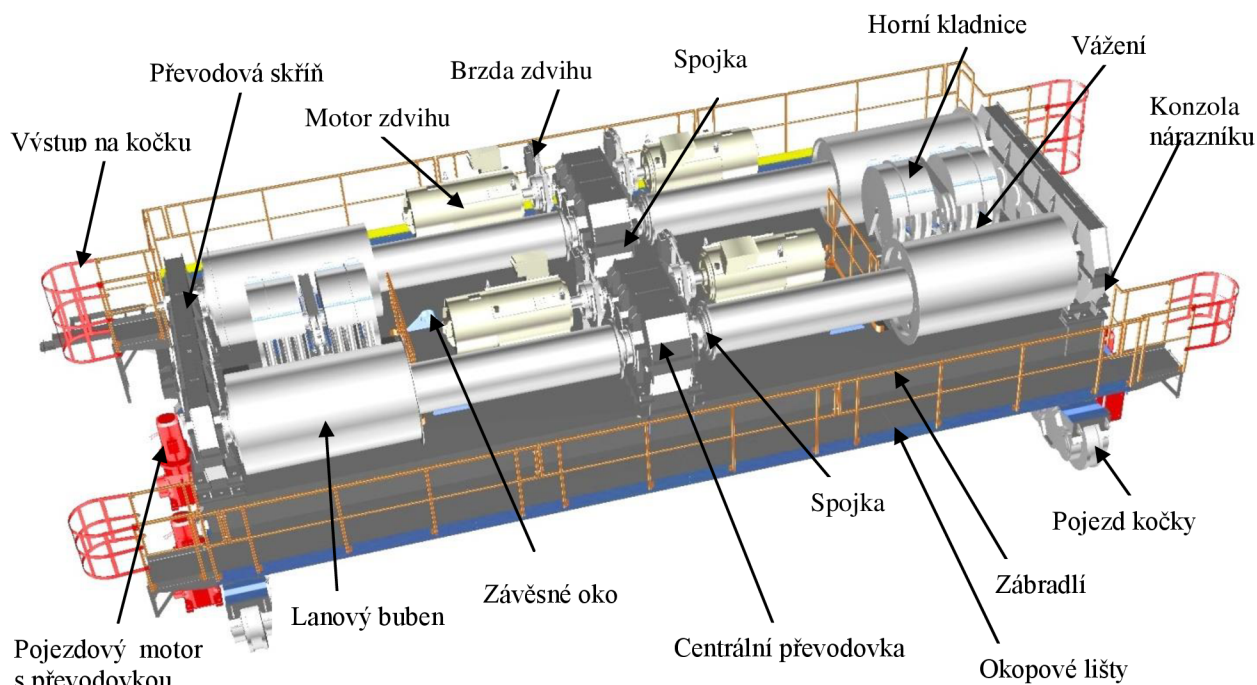
$k_m$	[-]	součinitel spektra zatížení
$n_i$	[1]	počet výskytů rozkmitů $i$ -tého napětí
$N_{ref}$	[1]	referenční počet cyklů
$N_t$	[1]	celkový počet výskytů rozkmitů napětí
$Q$	[kg]	hmotnost největšího zdvihaneho břemene
$s_3$	[-]	parametr historie napětí
S6	[-]	zařazení historie třídy napětí
$v$	[-]	relativní celkový počet výskytů rozkmitů napětí
$\gamma_{mf}$	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti
$\Delta\sigma_c$	[MPa]	charakteristická hodnota rozkmitu napětí
$\Delta\sigma_{Rd}$	[MPa]	dovolený rozkmit napětí
$\Delta\sigma_{Rd}$	[MPa]	dovolený rozkmit napětí

## 1.6 KONSTRUKCE A ROZMÍSTĚNÍ KOMPONENT NA RÁMU KOČKY

Jeřabová kočka je složena z několika částí, jak již bylo popsáno ve výše uvedených podkapitolách. Hlavní posuzovaná část je nosný rám kočky, na kterém jsou připevněny další hlavní části jako zdvihové ústrojí a pojezdy kočky. Dalšími částmi jsou pochůzná lávka,



zábradlí, výstupy na kočku, okopové lišty, nárazníky kočky a další pomocné konstrukce. Další nedílnou součástí jsou čtyři závěsná oka pro manipulaci s kočkou při montáži na most jeřábu. Na obr. 5 je uvedeno rozmístění těchto komponent. Hmotnosti jsou uvedeny v tab. 7.



Obr. 5 Rozmístění komponent na kočce

Tab. 7 Hmotnosti komponent kočky

Komponent	Hodnota	Komponent	Hodnota
Motor zdvihu	4 x 2100 kg	Horní kladnice - vážení	2 x 4224 kg
Centrální převodovka zdvihu	2 x 6750 kg	Zachycovače vážního rámu	2 x 54,5 kg
Spojovací převodovka zdvihu	2 x 8000 kg	Konzola nárazníku	2 x 314,5 kg
Brzda zdvihu Sibre	4 x 125 kg	Traverza 330t	37688 kg
Spojka brzdná pružná	4 x 176,25 kg	Zábradlí kočky 330t	679 kg
Lanový buben, čela, atd.	4x 5061 kg	Nástup kočky 330t	279 kg
Mezistolička	8 x 110 kg	Lano	4 x 1400 kg
Podvozek pojezdu, uložení	4 x 2013 kg	Ostatní	332 kg
Komponenty pojezdu - hnaný	4 x 894 kg	Přídavek	1000 kg
Komponenty pojezdu - hnací	4 x 818 kg	Rám kočky	30685 kg

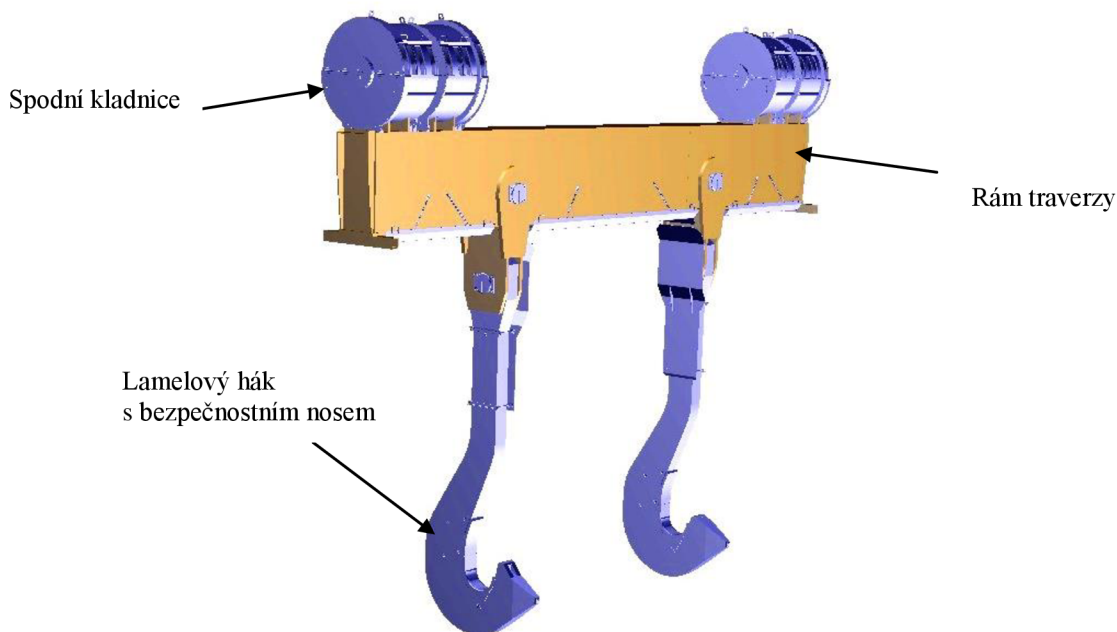
Hmotnost:

- Jeřábová kočka při montáži (bez traverzy, háků, lana): 123712 kg
- Jeřábová kočka s lany: 129312 kg
- Jeřábová kočka s lany, traverzou a háky: 167000 kg



## 1.7 LANOVÁNÍ A ZÁVĚSNÁ TRAVERZA

Lanování jeřábové kočky je tvořeno čtyřmi lany. Dvě lana jsou s levým stoupáním a dvě jsou s pravým stoupáním. Použitý typ je DIEPA X 53 (PZ 371) třídy pevnosti 1960 MPa a průměru 36mm. Délka jedné větve je 24m. Skutečná únosnost je 1153 kN. Lano je určeno pro hutní provozy na lici jeřáby. Minimální hodnota bezpečnosti je 9. Lana jsou z lanového bubnu vedena přes vodící kladky do vahadla. Ukončení každého lana je na jedné straně opatřeno nalisovanou očnicí dle DIN 3091. Druhý konec lana je volný a je připevněn k bubnu pomocí příložek.



Obr. 6 Traverza 330t

## 1.8 VLASTNOSTI POUŽITÝCH MATERIÁLŮ NA RÁMU KOČKY

Jak již bylo uvedeno v podkapitole 1.3.1 rám jeřábové kočky je převážně z materiálu S355J2+N. Z tohoto materiálu je rám i stoličky, které nesou komponenty kočky. Vlastnosti této oceli jsou vhodné na svařování a také na použití pro konstrukci tohoto typu. Pochůzné plechy s oválnými výstupky jsou z materiálu S235JR. Díly z tohoto materiálu nejsou použity u prvků, které jsou významné pro výpočet.

Tab. 8 Stanovené hodnoty oceli pro nosné prvky[5](str. 16 tabulka 2)

Materiál	Tloušťka	$f_y$ [MPa]	$f_u$ [MPa]	$f_{Rd\sigma}$ [MPa]	$f_{Rd\tau}$ [MPa]
S355J2+N	$t \leq 16$	355	490	323	186
	$16 \leq t \leq 40$	345		314	181
	$40 \leq t \leq 63$	335		305	176
	$63 \leq t \leq 80$	325		296	171
	$80 \leq t \leq 100$	315		287	166

Hodnoty návrhových únosností jsou pro hodnotu výsledného součinitele spolehlivosti prvků  $\gamma_{Rm} = 1,1$ .



Kde:

$f_y$	[MPa]	jmenovitá hodnota meze kluzu
$f_u$	[MPa]	jmenovitá hodnota meze pevnosti
$f_{Rd\sigma}$	[MPa]	Návrhová hodnota únosnosti normálová
$f_{Rdt}$	[MPa]	Návrhová hodnota únosnosti smyková
$\gamma_{Rm}$	[-]	součinitele spolehlivosti prvků
$t$	[mm]	tloušťka plechu

Hodnoty návrhových únosností jsou pro hodnotu výsledného součinitele spolehlivosti prvků  $\gamma_{Rm} = 1,1$ .



## 2 TVORBA VÝPOČTOVÝCH MODELŮ

Modely pro pevnostní analýzu rámu kočky jsou tvořeny v programu NX I-deas 6.1. Dle zadání jsou vytvořeny dva modely pro kontrolu rámu metodou konečných prvků, kdy jeden je prutový a druhý je skořepinový.

V modelech jsou použity jak prvky, které souvisí přímo s konstrukcí rámu, tak prvky pomocné, které nahrazují složitější nebo těžko modelovatelné prvky.

### a) 1D prvky:

- a. **Beam**: je používán převážně pro prutové modely. Přenáší všechny stupně volnosti. Je definován počátečním a koncovým uzlem, materiálem a průřezem (plocha, tvar, momenty setrvačnosti kolem osy X a Y), souřadným systémem. Výstupem jsou napětí, posunutí, přetvoření, síly v uzlech a ohybové momenty na prvku.
- b. **Rod**: má podobné vlastnosti jako prvek Beam až na to, že přenáší pouze translace.

### b) 2D prvky:

- a. **Thin shell**: jedná se o dvojrozměrný skořepinový prvek, který je definován 3 nebo 4 uzly. Pro tento prvek se musí přiřadit tloušťka, materiál a směr normály. Používá se pro tenkostěnné profily. Výstupem u tohoto prvku jsou napětí, posuvy, síly v jednotlivých uzlech a přetvoření.

### c) Other prvky:

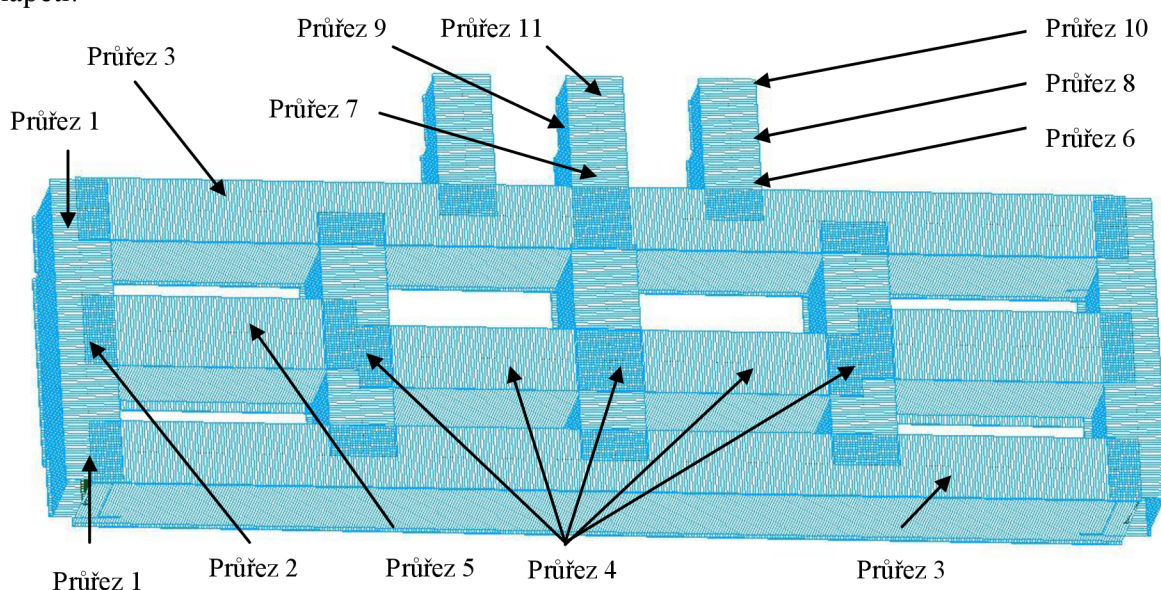
- a. **Constraint**: jde o RBE3 prvek – tento prvek není definován hmotností. Prvek spojuje jeden závislý uzel s jedním nebo více uzly závislými. Závislý uzel přenáší všech 6 stupňů volnosti, do nezávislých uzlů a ty dále přenáší pouze posuvy. Výstupem jsou tedy posunutí a reakční síly.
- b. **Rigid**: jde o RBE2 prvek. Tento prvek je nehmotný a nekonečně tuhý. Spojuje jeden závislý uzel s jedním nebo více nezávislými. Přenáší všechny stupně volnosti. Výstupem jsou posunutí a reakční síly.
- c. **Lumped mass**: Jedná se o prvek, který se umísťuje do jednoho bodu. Vlastnosti prvku, které se dají nadefinovat, jsou: hmotnost, momenty setrvačnosti kolem všech os a souřadný systém.
- d. **Couple DOF**: Tímto prvkem je definována vazba mezi jedním závislým uzlem a jedním nebo několika dalšími nezávislými uzly. Prvek může přenášet všechny stupně volnosti dle nadefinování.

### 2.1 PRUTOVÝ MODEL

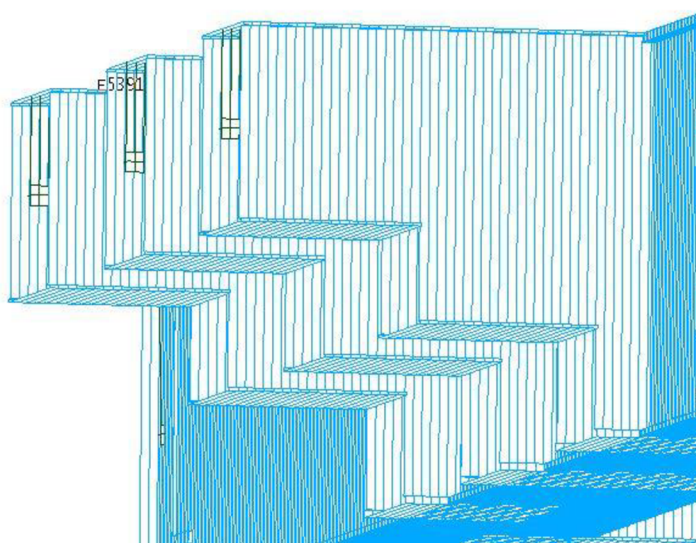
Prutový model, je z hlediska modelování a výpočtu, méně náročnější varianta pro analýzu rámu. Nevýhodou je ale fakt, že v prutovém modelu nelze použít konstrukční prvky, jako jsou



žebra, vyztužení profilů, stoličky pro uchycení komponent kočky. Tvorba modelu spočívá ve vytvoření základního objemu a na jedné jeho ploše následně tvoříme pomocí řezů výsledný obrys jednorozměrného modelu. Vytvořený obrys je tvořen střednicemi prutů. Síťování prutového modelu spočívá v přiřazování průřezů k již vytvořeným střednicím prutů. Rozdělení typů průřezů je naznačeno níže na obrázku a výsledné rozměry průřezů jsou uvedeny v Příloze 2. Umisťování průřezů nosníků na střednice se musí nastavit pomocí offsetů, jelikož průřez se automaticky generuje na střednici prutu v místě těžiště průřezu. Proto je důležité správné nastavení pozic průřezů na střednicích. Odsazování lze provést v ose  $z$  i  $y$ , tak aby rám odpovídal skutečnosti. Další funkcí je natočení průřezu. Na střednici je průřez zastoupen pomocí prvků, jejichž vzdálenosti mezi sebou jsou 30mm. Při vytváření průřezů se síťuje samotný průřez. Dále si program sám spočítá průřezy a kvadratické momenty průřezů, které jsou potřebné pro získání výsledků v podobě hledaných posuvů a napětí.



Obr. 7 Prutový model rámu



Obr. 8 Detail odstupňování bočního vysunutí

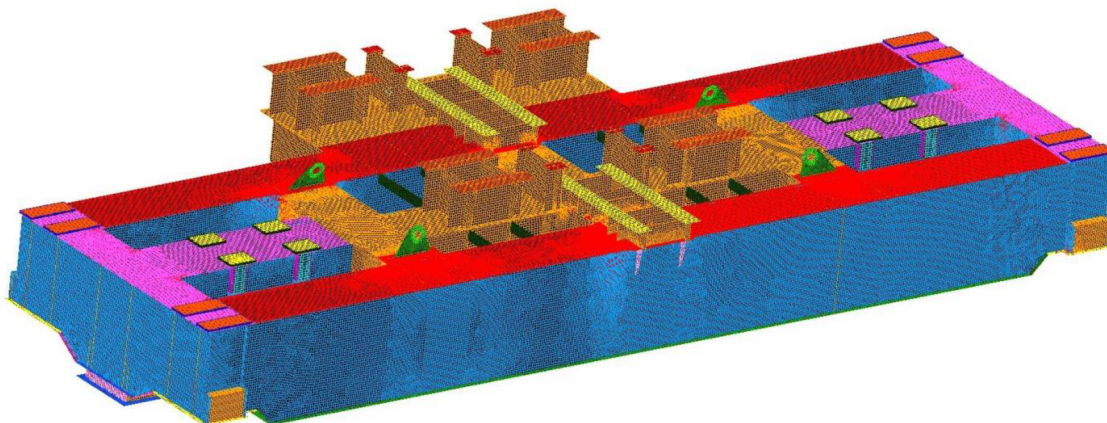




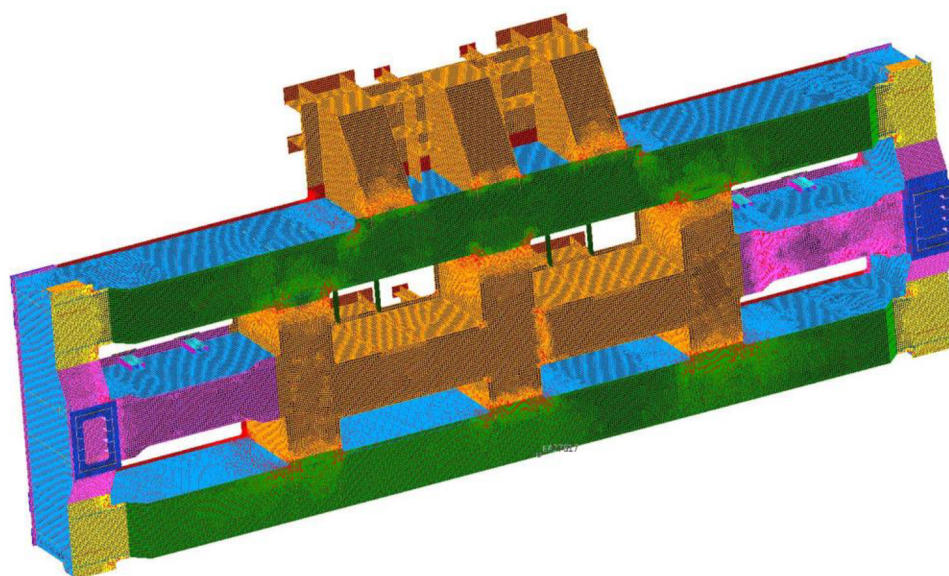
## 2.2 SKOŘEPINOVÝ MODEL

Vytváření skořepinového modelu je složitější než u předchozího prutového modelu. Proto také výsledky skořepinového modelu více odpovídají reálným podmínkám. Již na začátku modelování musí být promyšleny kroky, které povedou k úspěšnému vytvoření modelu. Tvorba modelu vyhází z vytvoření hlavního obrysového objemu a postupného odřezávání nepotřebných objemů. Dalším krokem je rozřezání modelu převážně pomocí funkce *partition*. Po dokončení modelu je na řadě síťování. Síťování je tvořeno pomocí prvků *Thin shell*, kterým je přiřazena tloušťka dle typu použitého plechu. V modelu jsou vynechány konstrukční prvky, jakou jsou zkosení, některá zaoblení, sražení a malé otvory. Tyto vynechané prvky nezpůsobí velké odlišnosti v konečném výsledku výpočtů.

Síťování bylo provedeno převážně volnou sítí různými velikostmi elementů, dle typu plochy, která byla síťována. Velikost elementů byla volena od 7 do 30mm. Tloušťka elementů byla dle použitých plechů na rámu a ta se pohybuje od 6 do 100mm.



Obr. 9 Skořepinový model rámu - vyobrazení se stoličkami



Obr. 10 Skořepinový model - pohled zdola

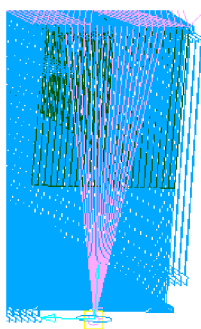


## 2.3 NÁHRADA ULOŽENÍ POJEZDOVÝCH KOL

Pojezdové ústrojí kočky se skládá ze čtyř podvozků. Každý z těchto podvozků je vybaven jedním hnacím a jedním hnaným kolem. Všechny podvozky jsou nezávisle hnané a vzhledem k tomu faktu budou podvozky nahrazeny. Nahrazení pojezdu kočky je zastoupeno nahrazením celého podvozku, kde je pomocí prvku *constraint* svázán bod umístěný ve středu a ose čepu podvozku s nezávislými body na spodní pásnici příčnicku. Do bodu, který se nachází ve středu a ose čepu je umístěn prvek *lumped mass* a definována hmotnost podvozku. Do tohoto bodu jsou později umísťovány okrajové podmínky a zatížení. Zatížení se skládá z vloženého momentu, který působí od pojezdu kočky. Toto zatížení se nejvíce projeví například při nárazu kočky, kdy proti směru okrajové podmínky působí moment od pojezdových jednotek.

### 2.3.1 PRUTOVÝ MODEL

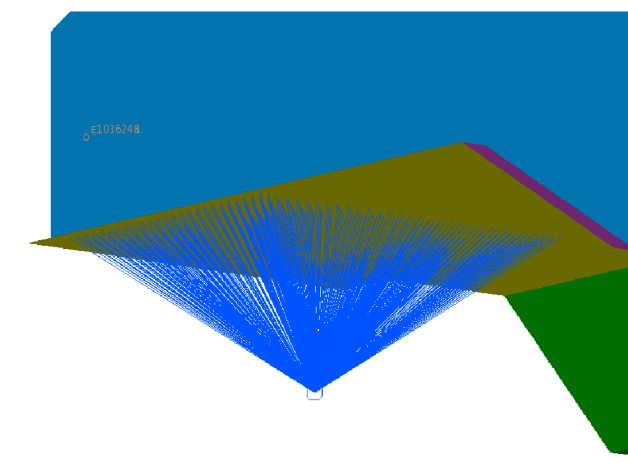
V prutovém modelu je prvek *constraint* umístěn na střednici prutu v rozsahu stykové plochy podvozku. Nahrazení podvozku je znázorněno na obrázku.



Obr. 11 Náhradu podvozku v prutovém modelu

### 2.3.2 SKOŘEPINOVÝ MODEL

Ve skořepinovém modelu je nahrazení podvozku prostřednictvím prvku *constraint* vytvořeno tak, že závislý prvek je v bodě, který se nachází na ose a středu čepu podvozku. Závislé prvky jsou umístěny na ploše, která je v kontaktu s rámem podvozku. Náhrada podvozku je znázorněna na obrázku níže.



Obr. 12 Náhrada podvozku na skořepinovém modelu

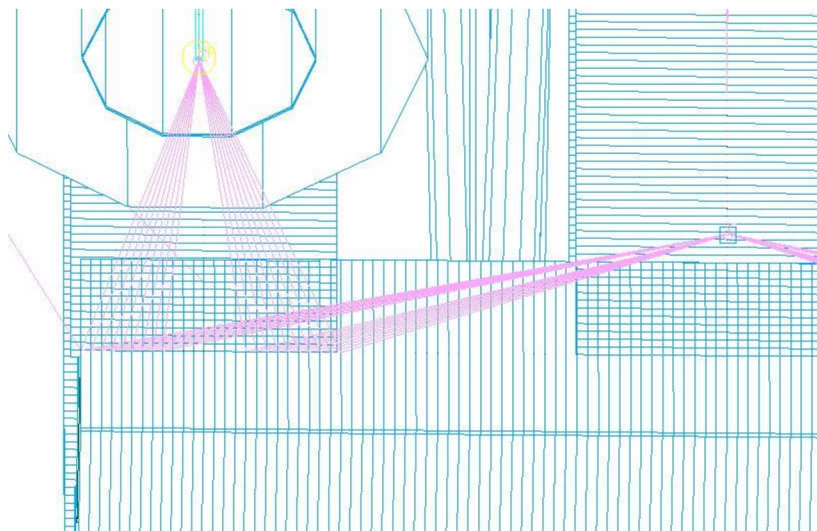


## 2.4 NÁHRADA VYBAVENÍ KOČKY

Nezbytnou součástí kočky jsou její mechanismy zdvihu. Mezi tyto prvky patří motory zdvihu, spojkové brzdy zdvihu, centrální převodovky, spojovací převodovky, horní kladnice, lanové bubny, traverza s háky, zdvihová lana, pochůzná lávky. U všech těchto prvků je zahrnuta hmotnost do výpočtového modelu. Nahrazení je provedeno pomocí prvku *lumped mass*, který je umístěn do těžiště prvků. Dále je tato hmotnost přenesena na model pomocí prvku *constraint*. U některých komponent je třeba přenést i jiný druh zatížení, jako třeba přenos kroutícího momentu od motoru zdvihu, centrálních převodovek, brzdícího momentu od brzd. Tato zatížení jsou zprostředkována pomocí zavedení bodu v místě momentu (například u motoru zdvihu je bod vytvořen na ose hřídele, uprostřed části hřídele, která tento moment přenáší). Do tohoto bodu je vložen příslušný moment a dále pomocí prvku *constraint* přeneseno do příslušných stoliček na rámu či příslušných ploch dotyku komponentu. Celkové schéma všech náhrad na rámu kočky jsou uvedeny v Příloze 1.

### 2.4.1 PRUTOVÝ MODEL

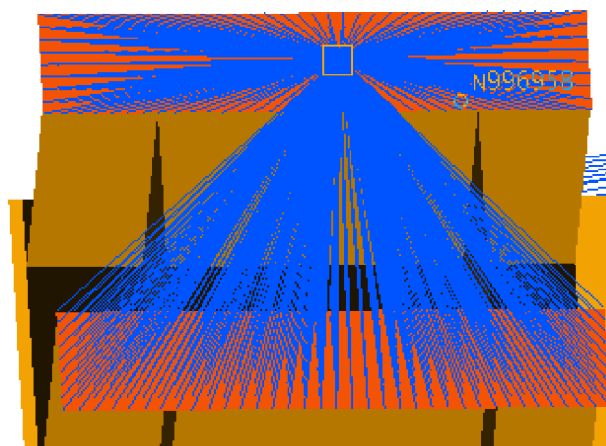
V prutovém modelu z důvodu absence stoliček či jiných příslušných ploch jsou umístěny náhrady na střednici odpovídajících prutů. Na prvku *constraint* muselo být upraveno defaultní nastavení pro přenos stupňů volnosti, jelikož byl prvek nastaven jen na přenos třech stupňů volnosti a to posuvů. Příklady náhrad na pravém modelu jsou uvedeny na níže.



Obr. 13 Ukázka uchycení prvku *concastraint* od hmotnosti převodovky na střednici nosníku

### 2.4.2 SKOŘEPINOVÝ MODEL

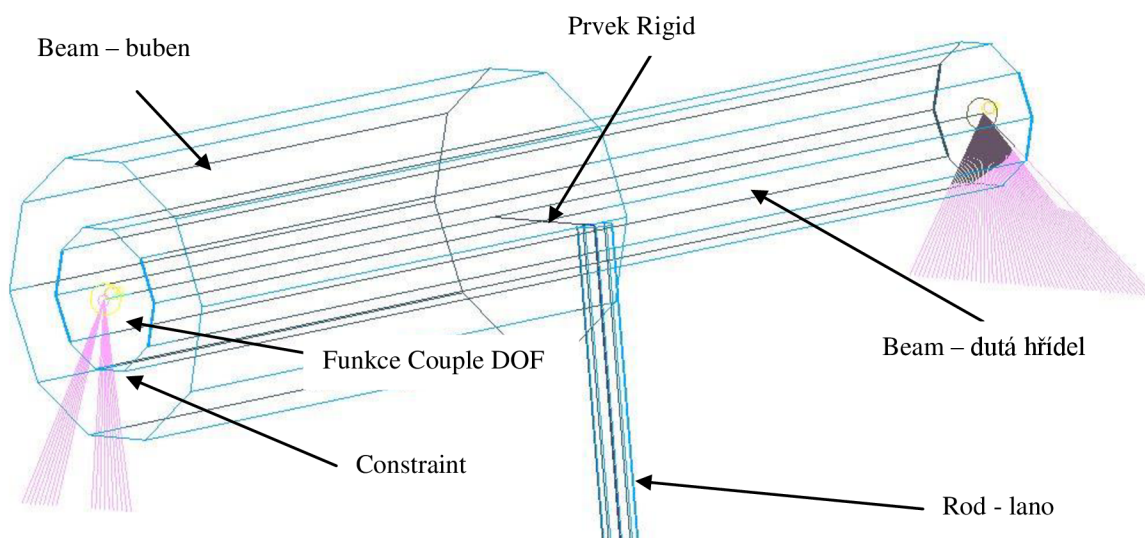
U skořepinového modelu jsou provedeny náhrady dle popisu. Zatížení od náhrad jsou převážně zachyceny v příslušných stoličkách, které následně rozvádějí zatížení do rámu. Příklady těchto náhrad jsou uvedeny na obr.14.



Obr. 14 Náhrada na skořepinovém modelu

## 2.5 NÁHRADA LANOVÉHO BUBNU

Lanový buben se skládá ze dvou hlavních součástí. První je samotný drážkovaný buben, na kterém je uchyceno a namotáno lano. Délka lanového bubnu netvoří celou vzdálenost rozteče centrální a spojovací převodovky. Tuto vzdálenost pokrývá dutá hřídel, na kterou je buben přivařen. Uložení tohoto celku je provedeno pomocí speciálních spojek TCBA-HD 1500, které jsou vybaveny soudečkovými ložisky. Je tedy umožněno naklápění osy bubnu  $x$  a posuv v této ose je povolen. Spojka přenáší posuvy v osách  $y$  a  $z$ . Funkcí *couple DOF* jsou tyto vlastnosti přenášeny do bodů, z kterých je rozneseno zatížení do stoliček od převodovek. Tah lana, které je nahrazeno pomocí prvku *rod*, je nahrazen pomocí prvku *rigid*. Tento prvek je umístěn jedním koncem na osu bubnu a druhý jeho konec je umístěn na poloměru bubnu kolmo k jeho ose.



Obr. 15 Náhrada lanového bubnu

### 2.5.1 PRUTOVÝ MODEL

Prvek *constraint*, roznáší zatížení od bubnu na střednici prutu v rozsahu stoličky převodovky. Z prvku je nejdříve napojen krátký prvek (délka 1mm) *beam*, který zastupuje na jedné straně náhrady buben a na druhé dutou hřídel. Z toho prvku je teprve napojena funkce *couple DOF*.



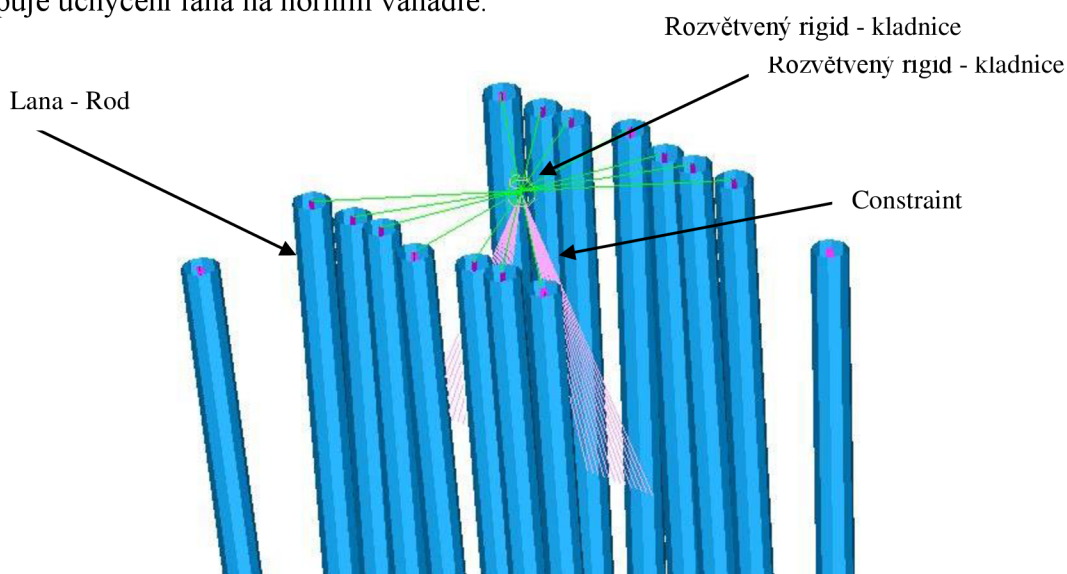
Touto funkcí je opět napojen buben nebo dutá hřídel, jelikož není možné pro správnost náhrady napojit funkci *couple DOF* do prvku *constraint* napřímo.

### 2.5.2 SKOŘEPINOVÝ MODEL

Náhrada bubnu a jeho uložení je provedena stejně jako u prutového modelu. Odlišnost je pouze v roznesení prvku *constraint* na stoličku příslušné převodovky.

## 2.6 NÁHRADA HORNÍCH KladNIC

Horní kladky jsou umístěny na prostředním nosníku kočky. Jejich náhradu spočívá ve vytvoření prvku *rigid*, který je svým středem umístěn do středu kladnice a z něj vychází paprsky, které reprezentují poloměry kladek, na kterých se otáčí lano. Jeden z těchto paprsků zastupuje uchycení lana na horním vahadle.



### 2.6.1 PRUTOVÝ MODEL

Prvek *rigid* je spojen s krátkým *beamem*, z kterého je zatížení přeneseno pomocí *constraintu* na střednici příslušného nosníku.

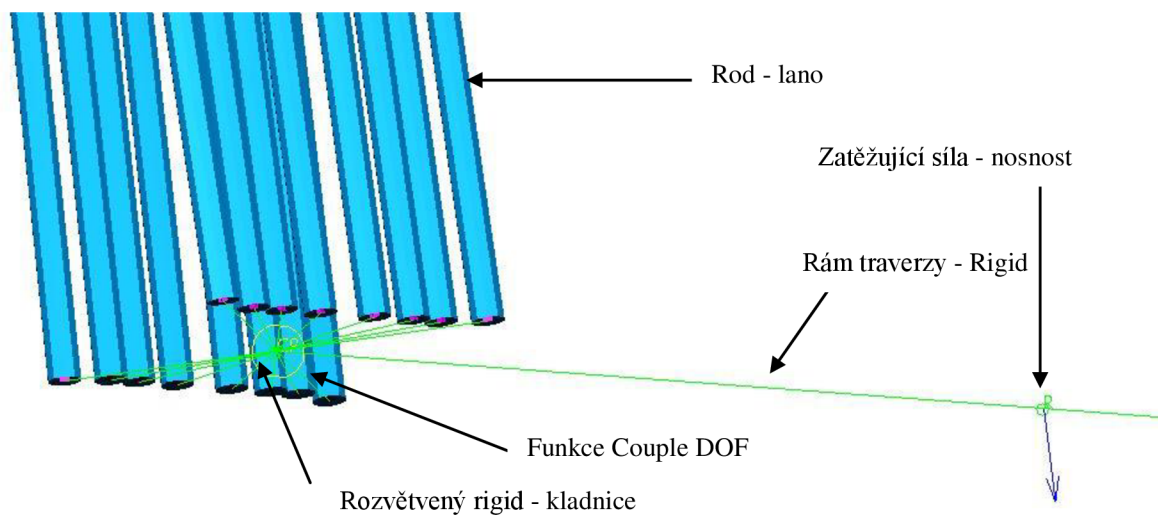
### 2.6.2 SKOŘEPINOVÝ MODEL

Skořepinový model se liší pouze plošným roznesením *constraintu* na příslušné výztuhy na nosníku.

## 2.7 NÁHRADA NOSNÉ TRAVERZY

Traverza je nahrazena pomocí prvku *rigid*, který vychází ze středu její délky. Délka prvku je takřka po středy horních kladek, kde je mezi konec traverzy a střed *rigidu*, který zastupuje spodní kladnice, vložena funkce *couple DOF*. Funkce má nastavení pro přenos všech stupňů volnosti až na rotaci kolem osy *x*.

Střed traverzy je vytvořen pro možnost umístění zatížení. Do tohoto středu bude později umístěna síla, která bude zastupovat nosnost kočky, hmotnost traverzy s kladnicemi a lamelovými háky.



*Obr. 16 Nahrazení traverzy*



### 3 VÝPOČET ZATÍŽENÍ JEŘÁBOVÉ KOČKY

Obsahem této kapitoly je definování a výpočet všech koeficientů, součinitelů a parametrů, které nám zajistí správnou analýzu rámu kočky. Pro výpočet se tato práce řídí normou ČSN EN 13001. Dle této normy jsou použity zatěžovací stavy, součinitele k těmto zatěžovacím stavům a kombinace těchto zatížení. Tato výsledná zatížení dále použijeme pro simulaci v programu NX I-deas na skořepinový a prutový model.

Zatížení jsou rozdělena do tří kategorií dle [4] (str. 12). Jedná se o zatížení **pravidelná, občasná, výjimečná**.

#### 3.1 PRAVIDELNÁ ZATÍŽENÍ

Tato podkapitola se skládá se zatížení, která se často objevují za normálního provozu jeřábu. Pravidelným zatížením se v tomto případě počítá s hmotností těchto částí: ocelová lana, licí traverza s lamelovými háky a kladnicemi, licí pánev, tavenina v pánvi. Celková hmotnost této soustavy je nosnost celé kočky a to je 330t.

##### 3.1.1 DYNAMICKÝ SOUČINITEL PRO ZDVIHÁNÍ A PRO ÚČINKY TÍHY, KTERÉ PŮSOBÍ NA HMOTNOST JEŘÁBU [6]

Tímto součinitelem se při výpočtu zatížení od hmotnosti jeřábu/kočky vynásobí hmotnost kočky pro kombinace dle ČSN 13001-2. Nejprve je však nutno určit zařazení do hmotnosti kočky.

Posuzovaný rám jeřábové kočky spadá do zařazení hmotnosti MDC1 dle [4] (str. 29). Tato skupina je určena tím, že všechny kritické body jeřábu nebo jeho části, které jsou vybrány pro prokázání výpočtem, všechna zatížení působící od gravitačního zrychlení nepříznivě zvyšují působení výsledných účinků namáhání. Dále nejsou ovlivněny úmyslným přetvořením.

Níže uvedená tabulka určuje hodnoty dílčího součinitele bezpečnosti pro hmotnost kočky  $\gamma_p$ .

Tab. 9 Hodnoty součinitele  $\gamma_p$  dle Tabulky 7 [4] (str. 29)

Metoda určení hmotností částí jeřábu a jejich těžišť	Kombinace zatížení dle kap. 2		
	A	B	C
Výpočet	1,22	1,16	1,10
Vážení	1,16	1,10	1,05

Dynamický součinitel  $\emptyset_1 = 1,10$ . [6] (str. 17)

##### 3.1.2 DYNAMICKÝ SOUČINITEL PRO ÚČINKY SETRVAČNOSTI A TÍHY PŘI ZDVIHÁNÍ LEŽÍCIHO BŘEMENA

Součinitel  $\emptyset_2$ , kterým se vynásobí tíha břemena, zastupuje dynamické účinky působící na jeřáb/kočku v momentě, kdy se tíha břemena začne přenášet na zdvihové médium – lano [6](str. 17).



Pro určení  $\emptyset_2$  se musí nejdříve vypočítat teoretický součinitel  $\emptyset_{2t}$ . Tento součinitel slouží k určení zdvihové třídy dle [4]. Pro výpočet tohoto součinitele se použije zjednodušený vzorec:

$$\emptyset_{2t} = 1 + \frac{2,8 \cdot v_{h,max}}{0,45 + \left(\frac{R_r \cdot l_r}{1500 \cdot Z_a}\right)^{1/2}} = 1 + \frac{2,8 \cdot \frac{8}{60}}{0,45 + \left(\frac{1960 \cdot 24}{1500 \cdot 10,08}\right)^{1/2}} = 1,17 \quad (13)$$

$$Z_a = \frac{\text{celková síla při přetržení lana}}{\text{zatížení zdvihu}} = \frac{32 \cdot 1153 \cdot 10^3}{(330000 + 43228) \cdot 9,81} = 10,08 \quad (14)$$

Pomocí teoretického součinitele  $\emptyset_{2t}$  se určí zdvihová třída, která přiřadí hodnoty součinitelům  $\beta_2$  a  $\emptyset_{2,min}$ . Tyto součinitele jsou součástí výpočtu součinitele  $\emptyset_2$ .

**Určení zdvihové třídy** dle tabulky 2 [6] (str. 18):

$$1,07 + 0,24 \cdot v_{h,max} < \emptyset_{2t} \leq 1,12 + 0,41 \cdot v_{h,max} \quad (15)$$

$$1,07 + 0,24 \cdot \frac{8}{60} = 1,1 < \mathbf{1,17} \leq 1,07 + 0,41 \cdot \frac{8}{60} = 0,175 \rightarrow \mathbf{HC2}$$

Dle tabulky 2 [4] (str. 14) jsou hodnoty součinitelů  $\beta_2$  a  $\emptyset_{2,min}$  následující:

$$\beta_2 = 0,34; \quad \emptyset_{2,min} = 1,10$$

**Typ pohonu zdvihu:**

HD4 – Bezstopňové ovládání pohonu zdvihu, které provádí plynulé zvyšování rychlosti

Dle normy 13001-2 jsou při pevnostním výpočtu uvažovány dvě skupiny, které obsahují výše uvedené kombinace zatížení. Rozřazení je následovné

- Normální používání skládající se ze zdvihu řízenou rychlostí mechanismu za stavu uvolněného lana – kombinace zatížení A a B
- Výjimečný případ, kdy je zahájen zdvih maximální rychlostí ze stavu uvolněného lana – kombinace zatížení C

Tab. 10 Hodnoty  $v_h$  dle tabulky 3 [4] (str. 14) pro zjištění  $\emptyset_2$

Kombinace zatížení	Typ pohonu zdvihu a způsob jeho činnosti
	HD4
A1, B1	$0,5 \cdot v_{h,max}$
C1	$v_{h,max}$



**Dynamický součinitel:**

Pro kombinace zatížení A1 a B1:

$$\varnothing_2 = \varnothing_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h = \varnothing_{2,min} + \beta_2 \cdot 0,5 \cdot v_{h,max} = 1,10 + 0,34 \cdot 0,5 \cdot \frac{8}{60} = 1,123 \quad (16)$$

Pro kombinace zatížení C1:

$$\varnothing_2 = \varnothing_{2,min} + \beta_2 \cdot v_h = \varnothing_{2,min} + \beta_2 \cdot v_{h,max} = 1,10 + 0,34 \cdot \frac{8}{60} = 1,145 \quad (17)$$

Kde:

$v_{h,max}$	[m.s <sup>-1</sup> ]	maximální ustálená rychlost zdvihu
Rr	[MPa]	pevnosti lana dle EN 12385-4
$l_r$	[m]	délka větve lana
$Z_a$	[-]	skutečný součinitel bezpečnosti lana
$\varnothing_1$	[-]	součinitel zahrnující účinky při zdvihání a gravitační účinky
$\varnothing_2$	[-]	dynamický zdvihový součinitel
$\varnothing_{2,min}$	[-]	součinitel pro výpočet součinitele zdvihu $\varnothing_2$
$\varnothing_{2t}$	[-]	teoretický zdvihový součinitel
$\beta_2$	[-]	součinitel pro výpočet součinitele zdvihu $\varnothing_2$

**3.1.3 NÁHLÉ UVOLNĚNÍ ČÁSTI BŘEMENA ZDVIHU**

Zatížení tohoto druhu se zaměřuje na náhle uvolnění části břemena při procesu zdvihu nebo při manipulaci s břemenem. Převážně se používá u jeřábů, u kterých je typ uchopovacího prostředku magnet nebo drapák či obdoba tohoto uchopovacího prostředku. V případě analyzované kočky bylo zamýšleno s možností odložení lící pánve na zem, ale po konzultaci se tato situace zavrhla, jelikož tento stav není možný a v případě, že by k tomuto stavu došlo, následovala by havárie. Z tohoto důvodu tento zatěžovací stav není uvažován.

**3.1.4 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ POJEZDEM PO NEROVNÉM POVRCHU**

Tato část zatížení je definovaná jako dynamické účinky na jeřáb/kočku, která při zatížení břemenem pojíždí na kolejnicích dráhy. Tyto účinky jsou zahrnuty do speciálního součinitele  $\varnothing_4$ . Dráha, po které pojíždí kočka nebo celý jeřáb, je konstruována tak, že spadá do skupiny, která je definována souvislými kolejnicemi nebo svařovanými dráhami s opracovanými styky bez nerovností [6] (str. 18).

**Součinitel  $\varnothing_4 = 1$ .**



### 3.1.5 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ ZRYCHLENÍM POHONŮ

Součinitel  $\emptyset_5$  je definován jako hodnota, kterou se vynásobí zrychlení od pohonů. Do výpočtu zahrneme zrychlení od pohonu zdvihu, pohonu pojezdu kočky a pohonu pojezdu mostu. Každé zrychlení má svoji hodnotu součinitele  $\emptyset_5$ . Ve výpočtovém modelu poté vynásobíme zrychlení těchto pohonů přiřazenou hodnotou součinitele. Hodnoty součinitelů jsou voleny dle tabulky 3 a 4 [6] (str. 19) pro plynulé ovládání rychlosti. Dalším součinitelem, který zvyšuje hodnotu zrychlení, je součinitel pro účinek pohybů postupného dosažení polohy  $\emptyset_p$ . Tento součinitel pro zvolenou koncepci má však hodnotu  $\emptyset_p = 1,0$ , proto nebude do výpočtů zahrnován.

Tab. 11 Součinitel  $\emptyset_5$  pro pohony zdvihu a pojezdů dle tabulky 3 a 4[6] (str. 19)

Druh pohonu	Součinitel $\emptyset_5$
Zdvih	1,1
Pojezd kočky	1,3
Pojezd mostu	1,3

Kde:

$\emptyset_4$	[-]	součinitel pro výpočet pojezdu po nerovném povrchu
$\emptyset_5$	[-]	součinitel pro výpočet zatížení způsobených zrychlením pohonů
$\emptyset_p$	[-]	součinitel pro účinek postupného dosažení polohy

## 3.2 OBČASNÁ ZATÍŽENÍ

### 3.2.1 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ VĚTREM ZA PROVOZU

Posuzování zatížení způsobená větrem za provozu jsou v tomto případě nevhodné. Lící jeřáb, který je posuzován se nachází v kryté uzavřené hale. Z tohoto důvodu se nepředpokládá jakékoliv významné zatížení způsobené působením větru na konstrukci či břemeno jeřábu nebo jeřábové kočky. Součinitel pro toto zatížení není zahrnut do výpočtů.

### 3.2.2 ZATÍŽENÍ SNĚHEM A NÁMRAZOU

Stejně jako u předchozího zatížení se nepředpokládá toto zatížení u pevnostní kontroly rámu kočky. Důvody jsou shodné jako v předchozí podkapitole 3.2.1.

### 3.2.3 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ PŘÍČENÍM

Příčení je negativní projev nestejného zatížení pojezdových kol kočky. Protože je tlak kol různý a za provozu se mění, nastává stav příčení. Dalším vlivem, který k tomuto jevu přispívá, je geometrická nepřesnost kol. Síly, které vznikají při příčení, se přes nákolky kol projevují na zatížení konstrukce rámu a je nutné je do výpočtu zahrnout.

Prvním krokem pro posuzování tohoto zatížení je nutno určit vzájemné uložení a spřažení kol. Jsou definovány čtyři případy dle Obrázku 8 [4] (str. 20). Pro posuzovanou kočku odpovídá zařazení do skupiny nezávislých kol – „I“ a zároveň do skupiny kolo pevné/pevné – „F/F“.



Tyto skupiny odpovídají vlastnostem kočky a to tak, že každé poháněné kolo je nezávislé a není tedy spřaženo s jiným kolem. Kola nejsou axiálně posuvná a jsou tedy zařazeny do skupiny pevné/pevné. Všechna kola patří do skupiny IFF.

### Část úhlu příčení $\alpha_g$

Před výpočtem  $\alpha_g$  je nutno povést porovnání vůle ve vedení. Vůle mezi nákolkem a kolejnicí  $s_g = 20\text{mm}$ . Tabulka 6 [6] (str. 21)

$$s_g > \frac{4}{3} s_{g \min} = 20\text{mm} > 2,67\text{mm} \quad (18)$$

Potom je vzorec pro část úhlu:

$$\alpha_g = 0,75 \cdot \frac{s_g}{W_b} = 0,75 \cdot \frac{20}{4300} = 3,488 \cdot 10^{-3} \text{rad} \quad (19)$$

Část úhlu příčení od opotřebení kola a nákolku kola  $\alpha_w$  (opotřebení nákolků kol a kolejnic)

$$\alpha_w = 0,10 \cdot \frac{b_h}{W_b} = 0,1 \cdot \frac{120}{4300} = 2,79 \cdot 10^{-3} \text{rad} \quad (20)$$

Část úhlu příčení od úchytek zákrytu kol na kolejnici  $\alpha_t$

$$\alpha_t = 0,001 \text{ rad}$$

### ÚHEL PŘÍČENÍ

$$\alpha = \alpha_g + \alpha_w + \alpha_t = 3,4884 \cdot 10^{-3} + 2,79 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-3} = 7,279 \cdot 10^{-3} \text{rad} \quad (21)$$

Úhel příčení by neměl přesáhnout 0,015 rad. Tato podmínka je splněna.

Součinitel tření odvalujícího se kola [4] (str. 22)

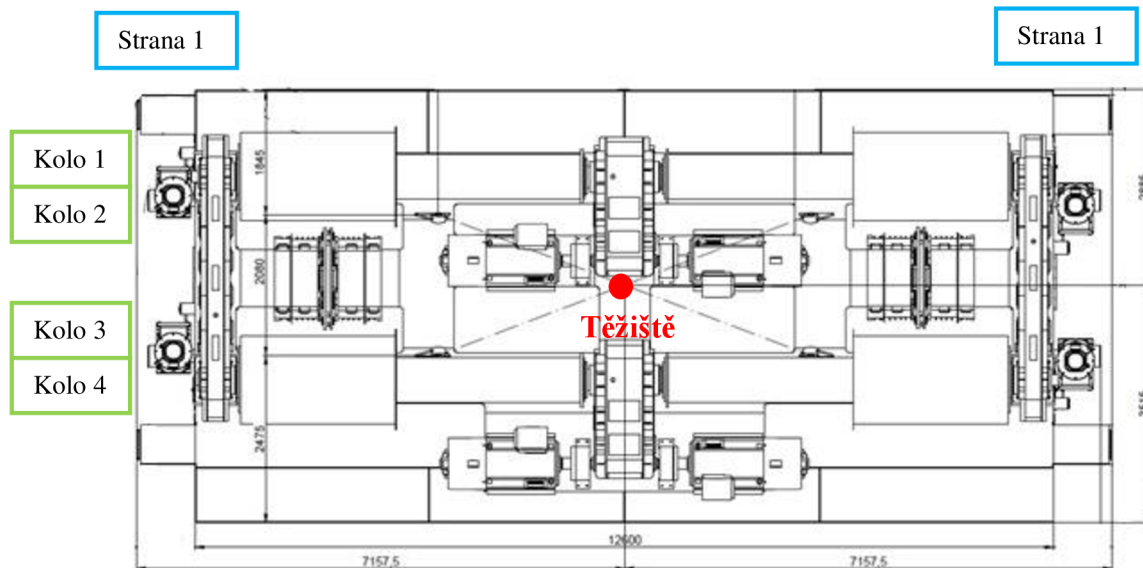
$$f = 0,3[1 - e^{(-250\alpha)}] = 0,3[1 - e^{(-250 \cdot 7,279 \cdot 10^{-3})}] = 0,2514 \quad (22)$$

Vzdálenost mezi okamžitým pólem a vodícím prostředkem

$$h = \frac{(p \cdot \mu \cdot \mu' \cdot l^2 + \Sigma d_i^2)}{\Sigma d_i} = \frac{[0 + \Sigma(0^2 + 1^2 + 2,3^2 + 1^2)]}{\Sigma(0 + 1 + 2,3 + 1)} = 1,695\text{m} \quad (23)$$

### VÝPOČET SÍLY PŘÍČENÍ VŠECHNA KOLA NEZÁVISLÁ IFF

Ve výpočtu se pro zjednodušení uvažuje stejné rozložení zatížení na obou stranách podle přibližného určení těžiště viz. obr. 6. Při tomto zjednodušení mají  $\mu$  a  $\mu'$  stejnou hodnotu 0,5 a součinitele  $\nu$  a  $\xi$  jsou shodné. U součinitelů a sil jsou dva indexy. První index značí stranu kočky dle strany pojezdu (1-levá strana, 2-pravá strana), druhý index rozlišuje pořadí kol (1- první kolo, 2 – druhé kolo, 3 – třetí kolo, 4 – čtvrté kolo).



Obr. 17 Určení těžiště kočky

### Výpočet sil působících na kola prvního podvozku - první kolo – IFF

Síly působící na kola kočky ve směru jízdy

$$\xi_{11} = \xi_{21} = 0 \quad (24)$$

$$F_{z11} = F_{z21} = 0 \quad (25)$$

Síly působící na kola kočky kolmo na směr jízdy

$$v_{11} = v_{21} = \frac{\mu'}{n} \left(1 - \frac{d_1}{h}\right) = \frac{0,5}{4} \left(1 - \frac{0}{1,695}\right) = 0,125 \quad (26)$$

$$F_{x11} = F_{x21} = v_{11} \cdot f \cdot m \cdot g = 0,125 \cdot 0,2514 \cdot 330\,000 \cdot 9,81 = 101732N \quad (27)$$

### Výpočet sil působících na kola prvního podvozku - druhé kolo – IFF

Síly působící na kola kočky ve směru jízdy

$$\xi_{12} = \xi_{22} = 0 \quad (28)$$

$$F_{z12} = F_{z22} = 0 \quad (29)$$

Síly působící na kola kočky kolmo na směr jízdy

$$v_{12} = v_{22} = \frac{\mu}{n} \left(1 - \frac{d_2}{h}\right) = \frac{0,5}{4} \left(1 - \frac{1}{1,695}\right) = 0,051 \quad (30)$$

$$F_{x12} = F_{x22} = v_{12} \cdot f \cdot m \cdot g = 0,051 \cdot 0,2514 \cdot 330\,000 \cdot 9,81 = 41507N \quad (31)$$



### Výpočet sil působících na kola druhého podvozku - třetí kolo – IFF

$$\xi_{13} = \xi_{23} = 0 \quad (32)$$

$$F_{z13} = F_{z23} = 0 \quad (33)$$

Síly působící na kola kočky kolmo na směr jízdy

$$v_{13} = v_{23} = \frac{\mu}{n} \left(1 - \frac{d_3}{h}\right) = \frac{0,5}{4} \left(1 - \frac{3,3}{1,695}\right) = -0,118 \quad (34)$$

$$F_{x13} = F_{x23} = v_{13} \cdot f \cdot m \cdot g = -0,118 \cdot 0,2514 \cdot 330\,000 \cdot 9,81 = -96035N \quad (35)$$

### Výpočet sil působících na kola druhého podvozku – čtvrté kolo – IFF

Síly působící na kola kočky ve směru jízdy

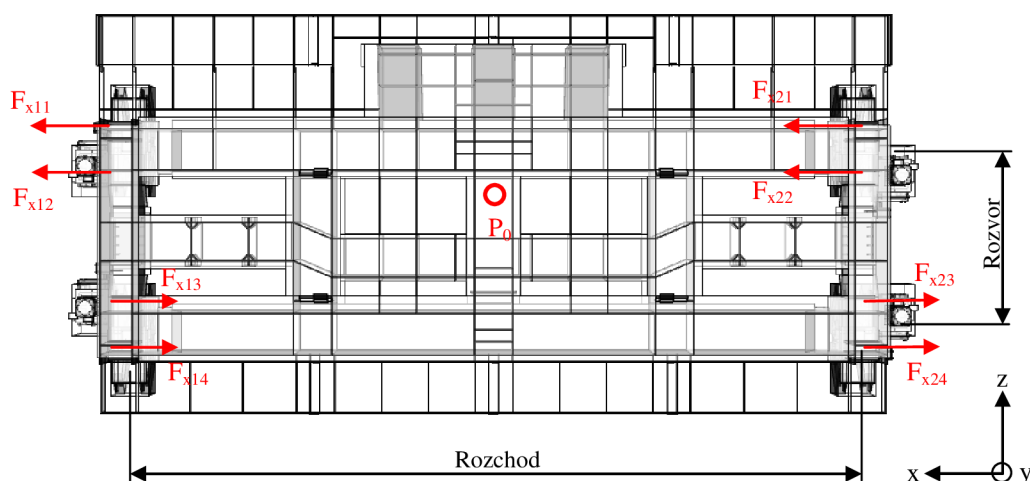
$$\xi_{14} = \xi_{24} = 0 \quad (36)$$

$$F_{z14} = F_{z24} = 0 \quad (37)$$

Síly působící na kola kočky kolmo na směr jízdy

$$v_{14} = v_{24} = \frac{\mu}{n} \left(1 - \frac{d_4}{h}\right) = \frac{0,5}{4} \left(1 - \frac{4,3}{1,695}\right) = -0,192 \quad (38)$$

$$F_{x14} = F_{x24} = v_{14} \cdot f \cdot m \cdot g = -0,192 \cdot 0,2514 \cdot 330\,000 \cdot 9,81 = -156261N \quad (39)$$



Obr. 18 Znáznornění sil od příčeni

Ve výpočtovém modelu je nahrazení kol a podvozků vytvořeno tak, že je nahrazen celý podvozek v jednom bodě. Tímto způsobem jsou vytvořeny čtyři body pro zavazbení nebo pro zatížení. Moment bude přiřazen do dvou bodů zastupující podvozky. Tento způsob vytvoří obdobné



působení na rám, jaké působí příčení. Na výpočtový model budou zavedeny dvě síly v podvozcích na straně 2.

### Moment příčení od vyvozených sil

$$M_P = (F_{x11} + F_{x21}) \cdot h + (F_{x12} + F_{x22}) \cdot (h - d_2) + (F_{x13} + F_{x23}) \cdot (h - d_2 + d_3) + \\ + (F_{x14} + F_{x24}) \cdot (h - d_2 + d_3 + d_4)$$

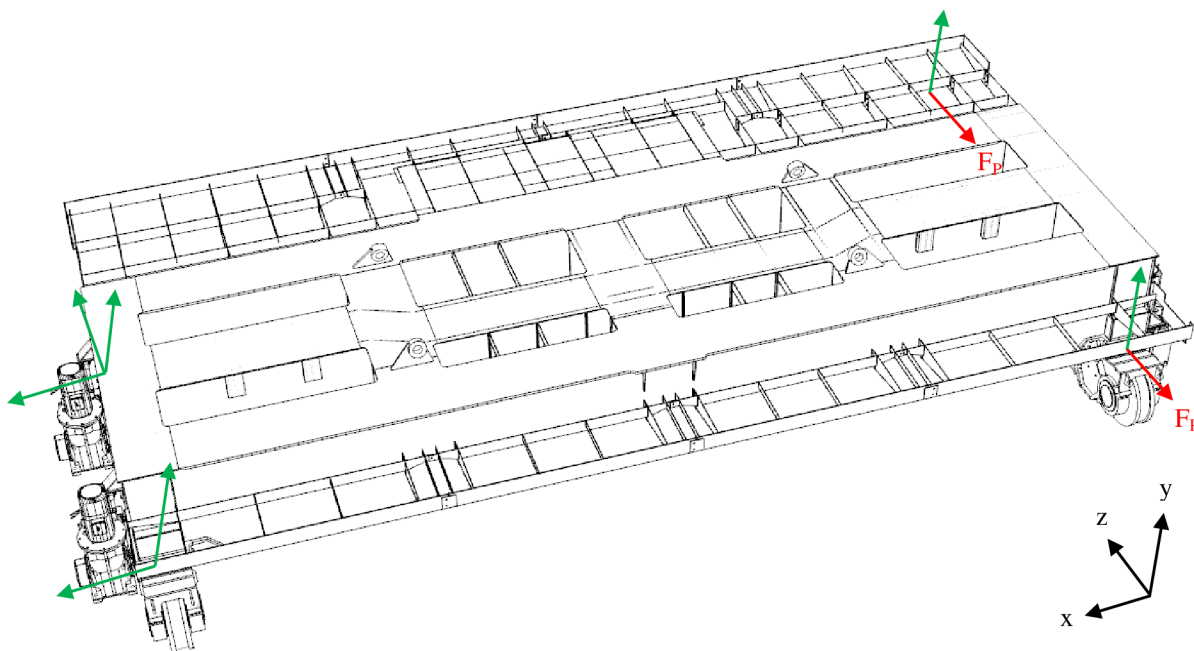
$$M_P = 2 \cdot 101732 \cdot 1,695 + 2 \cdot 41507 \cdot (1,695 - 1) + (-2 \cdot 96035) \cdot (1,695 - 1 + 2,3) \quad (40) \\ + (-2 \cdot 156261) \cdot (1,695 - 1 + 2,3 + 1)$$

$$M_P = -1421208,8Nm$$

Tento model je nahrazen dvěma silami, které se nacházejí v bodech podvozků. Síly budou zavedeny pro dva stavy. První stav je v jednom směru pojezdu kočky a druhý při opačném směru pojezdu.

### Velikost sil, které budou zavedeny jako působení od příčení

$$F_P = \frac{M_P}{l \cdot 2} = \frac{-1421208,8}{12 \cdot 2} = -59217N \quad (41)$$



Obr. 19 Zobrazení sil - příčení. Změna okrajových podmínek

Kde:

$S_g$	[mm]	vůle dráhy
$S_{g \min}$	[mm]	minimální hodnota vůle dráhy pro příčný pojezd kočky
$l$	[m]	rozchod kol kočky



$F_p$	[N]	přepočtená síla příčeni
$M_p$	[Nm]	moment k pólu otáčení od sil příčeni
$F_{xij}$	[N]	síla působící na kola kočka kolmo na směr pojezdu
$F_{zij}$	[N]	síla působící na kola kočka ve směru pojezdu

### 3.3 VÝJIMEČNÁ ZATÍŽENÍ

#### 3.3.1 ZATÍŽENÍ PŘI ZDVIHÁNÍ VOLNĚ LEŽÍCÍHO BŘEMENA PŘI POUŽITÍ MAXIMÁLNÍ RYCHLOSTI ZDVIHÁNÍ

Jak již bylo výše uvedeno v podkapitole 3.1.2, je určena a dopočítána hodnota pro součinitel  $\emptyset_2$ , který zastupuje dynamické účinky, vznikající pro pohyb s břemenem v kombinaci C1, jakožto výjimečné zatížení.

#### 3.3.2 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ VĚTREM MIMO PROVOZ

Toto zatížení uvažuje situaci, kdy vítr působí na jeřáb nebo břemeno, které zůstalo zavěšeno na jeřábu, který je mimo provoz. I v tomto případě tuto situaci nezahrnujeme do výpočtu, jelikož je jeřáb umístěn v kryté hale a předpoklad je, že vítr jako okolní vliv na tento jeřáb nepůsobí.

#### 3.3.3 ZATÍŽENÍ PŘI ZKOUŠKÁCH

Kritérium pro toto zatížení je popsáno jako použití pro jeřáb, který je v provozním uspořádání. Jeřáb nesmí být nijak modifikován, než jako bude používán dle návrhu a provozu. Břemena se vynásobí součinitelem pro zkušební břemena. Proto zatížení jsou předepsány dvě kategorie:

##### DYNAMICKÉ ZKOUŠEBNÍ ZATÍŽENÍ

Jak napovídá název tohoto zatížení, jedná se o přemísťování břemena pomocí pohonů stejným způsobem, jakým bude jeřáb používán. Zkušební břemeno je v tomto případě nejméně 110% maximálního břemene.

$$\emptyset_6 = 0,5 \cdot (1 + \emptyset_2) = 0,5 \cdot (1 + 1,145) = 1,0725 \quad (42)$$

##### STATICKE ZKOUŠEBNÍ BŘEMENO

V tomto případě jde pouze o statické zatížení bez započítání vlivu pohonů. Břemeno musí být navýšeno nejméně na 125% původní hodnoty.  $\emptyset_6 = 1$ .

#### 3.3.4 ZATÍŽENÍ ZPŮSOBENÁ SILAMI NA NÁRAZNÍKY

Posuzovaná kočka je vybavena nárazníky a proto se tedy při posouzení pružných účinků při nárazu vynásobí tyto síly součinitelem  $\emptyset_7$ . Budeme počítat i s kolizí celého jeřábu a proto tedy určíme součinitel i pro náraz celého jeřábu. Toto zatížení vychází z kinetické energie kočky nebo jeřábu při pojezdu. Uvažuje se 0,7 násobek pojezdové rychlosti. V tomto případě je rám kočky tuhý, nárazníky mají shodnou charakteristiku, takže se předpokládají stejné síly



na nárazníky. Má-li břemeno možnost volně vykývnut, tak neuvažujeme hmotnost břemene do výpočtu.

### SÍLY OD NÁRAZU POJEZDU KOČKY

Charakteristika tlumiče - GR-SK63/100-So (zdvih nárazníku = 100mm;  $F_{\max} = 200\text{kN}$ ; dynamická kapacita = 16kJ; teplota provozu max 70°C)

Z charakteristik nárazníku uvažujeme nárazníky s obdélníkovou charakteristikou a pro tyto je součinitel  $\emptyset_7 = 1,6$ .

Kinetická energie při nárazu kočky na nárazník

$$E_{kk} = \frac{1}{2} \cdot m_k \cdot v_k^2 = \frac{1}{2} 167000 \cdot \left(\frac{25}{60}\right)^2 = 14196,5\text{J} \quad (43)$$

Kočka je vybavena nárazníkem na každé straně, tedy dvěma. Energie, která je pohlcena jedním nárazníkem je:

$$E_{kk1} = \frac{E_{kk1}}{2} = \frac{14496,5}{2} = 7248,3\text{J} \quad (44)$$

Z charakteristiky nárazníku dle „Nárazník kočky“ je při pohlcení energie max 16kJ reakce na konzolu nárazníku umístěného na rámu kočky  $F_{nk} = 8,84\text{kN}$ . Charakteristika je v Příloze 3.

Nárazníková síla se určí dle vzorce:

$$E_{k1} = W = F_{nk} \cdot s_{nk} \rightarrow F_{nk} = \frac{W}{s_{nk}} \quad (45)$$

Je zaveden koeficient 0,85 dle [9]

$$F_{nk1} = \frac{W}{0,85 \cdot s_{nk}} = \frac{7248,3}{0,85 \cdot 0,1} = 85274,1\text{N} \quad (46)$$

Pro určení zrychlení musí být tato síla vynásobena dvěma, jelikož tato síla působí na oba nárazníky kočky.

$$F_{nk} = 2 \cdot F_{nk1} = 2 \cdot 85274,1 = 170548,2\text{N} \quad (47)$$

### Zpomalení kočky při nárazu:

$$F_{nk} = a_{nk} \cdot m_k \rightarrow a_{nk} = \frac{F_{nk}}{m_k} = \frac{170548,2}{167000} = 1,02\text{m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (48)$$

### SÍLY OD NÁRAZU POJEZDU MOSTU

Rychlost pojezdu mostu před nárazem

$$v'_m = 0,7 \cdot v_m = 0,7 \cdot 65 = 45,5\text{m} \cdot \text{min}^{-1} = 0,785\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (49)$$

Z charakteristik nárazníku vycházíme z obdélníkové charakteristiky a pro tyto je součinitel  $\emptyset_7 = 1,6$ .





Charakteristika nárazníku – C112.C105RC006 (zdvih nárazníku = 100mm;  $F_{\max} = 600\text{kN}$ ; dynamická kapacita  $>70\text{kJ}$ ).

Pro výpočet energie se musí určit redukovaná hmotnost mostu s kočkou bez břemene. U mostu bereme polovinu jeho hmotnosti. Kočka se uvažuje v poloze dojezdu na kraji nosníků a pro tento dojezd zredukuje hmotnost, kdy z celkového rozpětí mostu odečtu polovinu vzdálenosti krajních kol kočky, což je hodnota 2,15m. Vzorec pro redukovanou hmotnost obsahuje hmotnost poloviny mostu a hmotnost kočky v poměru jejího umístění. U výpočtu se nemusí řešit strana, na které se bude nacházet kočka, protože její dojezd je shodný pro obě strany.

Redukovaná hmotnost mostu s kočkou

$$m_{red} = \frac{m_m}{2} + m_k \frac{l_m - \frac{l_{kk}}{2}}{l_m} = \frac{313000}{2} + 167000 \frac{21 - \frac{4,3}{2}}{21} = 306402,4 \text{ kg} \quad (50)$$

Kinetická energie při nárazu mostového jeřábu na nárazník

$$E_{km} = \frac{1}{2} m_m \cdot v'_m{}^2 = \frac{1}{2} 306402,4 \cdot 0,785^2 = 94406 \text{ J} \quad (51)$$

Nárazová síla je určena z charakteristiky „Nárazník mostu“. Při energii  $\geq 70 \text{ kJ}$  je nárazová síla  $F_{nm} = 1240\text{kN}$ . Charakteristika nárazníku mostu je v Příloze 4

**Zpomalení mostu při nárazu:**

$$F_{nm} = a_{nm} \cdot m_{red} \rightarrow a_{nm} = \frac{F_{nm}}{m_{red}} = \frac{1240000}{306402,4} = 4,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \quad (52)$$

### 3.4 ZATĚŽOVACÍ STAVY

#### 3.4.1 HMOTNOST JEŘÁBOVÉ KOČKY – ZS1

Do této skupiny patří součásti a komponenty, které jsou trvale přítomny v provozu. Do této skupiny nepatří břemeno. Jmenovitě do této skupiny patří hmotnost rámu kočky, její komponenty a stoličky kočky. Tato hmotnost je celkem 167t. Model v programu I-Deas ukazuje jinou hmotnost z důvodu nezahrnutí všech komponent. Tato skutečnost se napravi změnou gravitačního zrychlení. Hmotnost skořepinového modelu v softwaru I-Deas je 114067 kg a hmotnost prutového modelu je 128923 kg. Řešení rozdílných hmotností je provedeno zvětšením gravitačního poměrem hmotnosti reálné ku hmotnosti modelu.

Váhový koeficient pro prutový model:

$$k_p = \frac{m_s}{m_{pm}} = \frac{129312}{128923} = 1,003 \quad (53)$$



Váhový koeficient pro skořepinový:

$$k_s = \frac{m_s}{m_{sm}} = \frac{129312}{114067} = 1,1336 \quad (54)$$

$m_s$  – skutečná hmotnost kočky (kg)

$m_{pm}$  – hmotnost prutového modelu (kg)

$m_{sm}$  – hmotnost skořepinového modelu (kg)

### 3.4.2 HMOTNOST BŘEMENE – ZS2

Do této zatěžovací skupiny patří nosnost kočky, uchopovací prostředky a licí pánev.

Síla zahrnutá ve výpočtovém modelu bude umístěna do těžiště traverzy.

$$F_b = (m_b + m_t) \cdot g = (330000 + 37688) \cdot 9,81 = 3607019,3N \quad (55)$$

### 3.4.3 ZRYCHLENÍ OD POHONU KOČKY - ZS3

Toto zrychlení ( $+a_z$ ) je počítáno v obou směrech pohybu kočky po její dráze. Kvůli zjednodušení bude jeden směr považován brzdění kočky ( $-a_z$ ). Zrychlení kočky je ze zadání  $a_z = 0,15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

### 3.4.4 ZRYCHLENÍ OD POHONU MOSTU JEŘÁBU - ZS4

Zrychlení pojezdu mostu je počítáno podobně jako u pojezdu kočky a to pro zjednodušení v jednom směru jako zrychlení ( $+a_x$ ) a v druhém směru jako brzdění ( $-a_x$ ). Zrychlení mostu jeřábu je ze zadání  $a_x = 2,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ .

### 3.4.5 ZATÍŽENÍ PŘÍČENÍM - ZS5

Ve výpočtovém modelu je označeno jako „priceni“. Do tohoto zatížení je patří moment, který je aplikován v osách čepů podvozků.

### 3.4.6 ZATÍŽENÍ NÁRAZEM NA NÁRAZNÍKY – ZS6

Zatížením od nárazu na nárazník je uvažováno a zavádí se pro dva stavy. První stav je náraz kočky na nárazník při pohybu v ose  $z$  a druhý stav je při nárazu pojezdu mostu na nárazník a to v ose  $x$ . Zatížení pro náraz kočky je zastoupeno silami na konzoly nárazníků. Zatížení pro náraz mostu je aplikováno jako zrychlení v příslušné ose.

## 3.5 OKRAJOVÉ PODMÍNKY

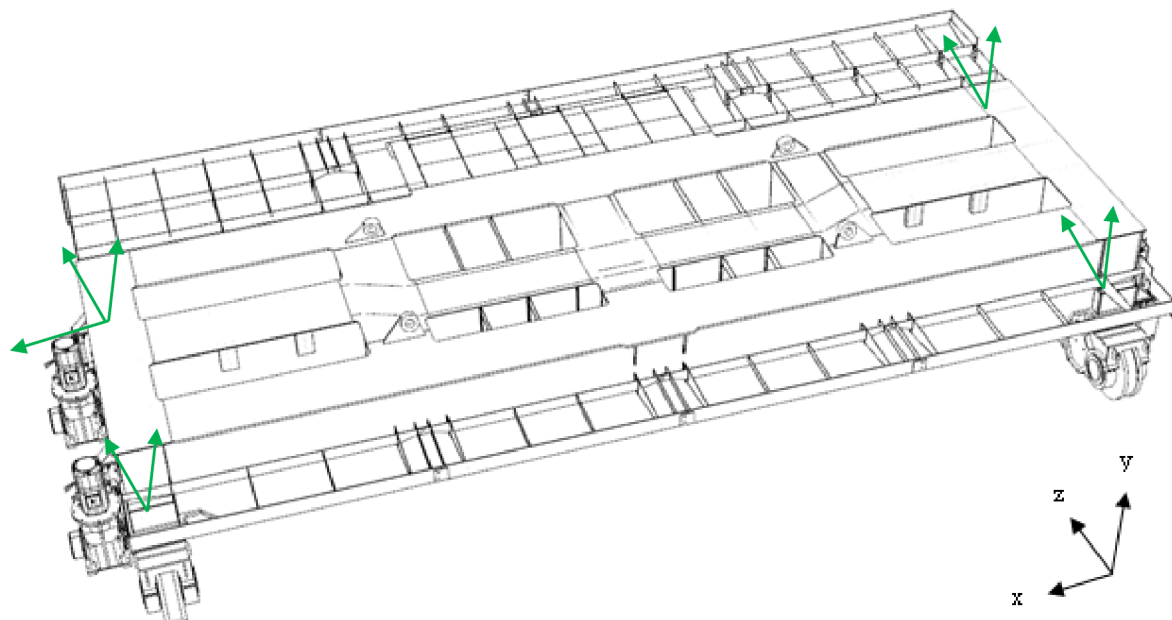
Pro simulaci zatížení a pro posouzení rámu kočky je nutné zavést okrajové podmínky a tím odebrat modelu příčinné stupně volnosti.

### 3.5.1 OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO POJEZD

První soubor okrajových podmínek bude pro pojezd. První zavazbení je pro osu  $x$ . Toto zavazbení zamezuje pohybu v této ose a je aplikováno do jednoho podvozku. Další zavazbená osa je  $y$ . Předpokladem je, že všechna kola dosedají na kolejnici. Vazba je umístěna do každého podvozku. Posledním osou je osa  $z$ , která je ve směru pojezdu kočky. Pojezd se



skládá ze čtyř podvozků a každý z těchto podvozků se dále skládá ze dvou kol. Na každém podvozku je jedno kolo hnané a hnací vlastním elektromotorem s převodovkou. Všechny podvozky jsou hnané, proto je do každého podvozku vložena vazba v této ose.



Obr. 20 Okrajové podmínky pro pojezd

### 3.5.2 OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO NÁRAZ

#### NÁRAZ KOČKY

Prvním druhem okrajové podmínky nárazu je náraz kočky. Při tomto stavu jsou okrajové podmínky podobné okrajovým podmínkám pro pojezd, ale vazba posuvu ve směru  $z$  je z kola přesunuta na nárazník kočky.

#### NÁRAZ MOSTU

Dalším je náraz mostu. V tomto případě je nutné hlavně simulovat zatížení v ose  $x$ . Pro tento stav platí, že kola mají odebrané posuvy v ose  $y$  a také posuv v ose  $z$ . Posuv ve směru osy  $z$  je zamezen pro oba podvozky na straně 1.

### 3.5.3 OKRAJOVÉ PODMÍNKY PRO PŘÍČENÍ

Okrajové podmínky pro příčení kočky se liší od okrajových podmínek předešlých. Konfigurace zavazbení podvozků je znázorněna v podkapitole 3.2.3 na obr.19

## 3.6 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Norma ČSN EN 13001-2 [4] udává, že pro prokázání výpočtem, který vychází z metody mezních stavů, musí být model zatížen kombinacemi zatížení. Vybraná zatížení je třeba vynásobit dílčími součiniteli bezpečnosti.



Pro zařízení s vysokým rizikem, kde jsou obzvláště vysoké dopady selhání stroje, jak pro osoby, tak z hlediska ekonomického, se zvyšuje spolehlivost specifikovaným součinitelem rizika. Lící jeřáb do této skupiny patří, musí se do výpočtu zahrnout tento součinitel. Součinitel rizika může být použit pouze pro část jeřábu nebo mechanismu. V tomto výpočtu je volen součinitel pro nosnou konstrukci. Hodnoty jsou uvedeny níže v *Tab.12*. Pro zatížení, kde figuruje hmotnost kočky nebo nosnost kočky je použit součinitel pro *rám kočky*.

*Tab. 12 Volba součinitele rizika [4] Tabulka D.2*

Prvek kočky	Třída rizika	Součinitel rizika $\gamma_n$
Rám kočky	I	1,1

### 3.6.1 KOMBINACE ZATÍŽENÍ A

#### L0 – ZATÍŽENÍ OD HMOTNOSTI KOČKY A UCHOPOVACÍCH PROSTŘEDKŮ.

V tomto zatížení se vyskytuje hmotnost kočky a uchopovacích prostředků. Tato hmotnost není nijak ovlivněna zvětšujícími součiniteli a slouží pro přehled nejnižších možných napětí, která působí na rám kočky při provozu bez zatížení. Použití výsledků bude aplikováno pro únavovou pevnost, jako nejnižší hodnoty napětí při provozu.

#### L1÷L4 – ZDVIH A ULOŽENÍ BŘEMENA

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je vynásobena součinitelem  $\emptyset_1$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Hmotnost břemena zdvihu vynásobené součinitelem  $\emptyset_2$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Zrychlení od pohonu pojezdu kočky a mostu vynásobená součiniteli  $\emptyset_5$  a dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$ .

$$L1 = ZS1 \cdot \emptyset_1 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS2 \cdot \emptyset_2 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS3 \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p + ZS4 \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p$$

$$L1 = ZS1 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 + ZS2 \cdot 1,123 \cdot 1,34 \cdot 1,1 + ZS3 \cdot 1,3 \cdot 1,34 + ZS4 \cdot 1,3 \cdot 1,34 \quad (56)$$

$$L1 = 1,4762 \cdot ZS1 + 1,6553 \cdot ZS2 + 1,742 \cdot ZS3 + 1,742 \cdot ZS4$$

Hodnoty zatížení L2, L3, L4 jsou shodné, rozdílné jsou pouze směry působení zrychlení od pohonů pojezdu kočky a mostu.

#### L5 – ZRYCHLENÍ OD POHONU ZDVIHU

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je v první fázi vynásobena 1, dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ . V druhém kroku je ZS1 vynásobena součinitelem  $\emptyset_5$  a dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$ . Zrychlení od pohonu zdvihu je zahrnuto do síly od břemene tak, že je součet nosnosti a traverzy vynásoben zrychlením, které se skládá z gravitačního zrychlení krychelní od pohonu zdvihu.



- b) Hmotnost břemena zdvihu vynásobené 1, dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ . V druhém kroku je ZS2 vynásobeno součinitelem  $\emptyset_5$  a dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$ . Zrychlení od pohonu zdvihu je zahrnuto do síly od břemene tak, že je součet nosnosti a traverzy vynásoben zrychlením, které se skládá z gravitačního zrychlení krychelní od pohonu zdvihu.

$$F_b = (m_b + m_t) \cdot (g + a_z) = (330000 + 37688) \cdot (9,81 + 0,15) = 3662172,5N \quad (57)$$

$$L5 = ZS1 \cdot 1 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p + ZS2 \cdot 1 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p$$

$$L5 = ZS1 \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 \cdot 1,34 \cdot 1,1 + ZS2 \cdot 1 \cdot 1,34 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,34 \quad (58)$$

$$L5 = 1,97811 \cdot ZS1 + 2,17268 \cdot ZS2$$

### L6÷L9 – POJEZD PO NEROVNÉM POVRCHU

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je vynásobena součinitelem  $\emptyset_4$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Hmotnost břemena zdvihu vynásobené součinitelem  $\emptyset_4$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Zrychlení od pohonu pojezdu kočky a mostu vynásobená součiniteli  $\emptyset_5$  a dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$ .

$$L6 = ZS1 \cdot \emptyset_4 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS2 \cdot \emptyset_4 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS3 \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p + ZS4 \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p$$

$$L6 = ZS1 \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 + ZS2 \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 + ZS3 \cdot 1,3 \cdot 1,34 + ZS4 \cdot 1,3 \cdot 1,34 \quad (59)$$

$$L6 = 1,342 \cdot ZS1 + 1,342 \cdot ZS2 + 1,742 \cdot ZS3 + 1,742 \cdot ZS4$$

Hodnoty zatížení L7, L8, L9 jsou shodné, rozdílné jsou pouze směry působení zrychlení od pohonů pojezdu kočky a mostu.

### 3.6.2 KOMBINACE ZATÍŽENÍ B

#### L10÷L11 – POJEZD PO NEROVNÉM POVRCHU S PŘÍČENÍM

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je vynásobena součinitelem  $\emptyset_4$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Hmotnost břemena zdvihu vynásobené součinitelem  $\emptyset_4$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Náhrady sil působící zatížení od příčeni, které jsou násobené 1 a součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$ .



$$L10 = ZS1 . \emptyset_4 . \gamma_p . \gamma_n + ZS2 . \emptyset_4 . \gamma_p . \gamma_n + ZS5 . 1 . \gamma_p$$

$$L10 = ZS1 . 1 . 1,1 . 1,16 + ZS2 . 1 . 1,1 . 1,16 + ZS5 . 1 . 1,16 \quad (60)$$

$$L10 = 1,276 . ZS1 + 1,276 . ZS2 + 1,16 . ZS5$$

Hodnota zatížení L11 je shodná, rozdílný je pouze směr působení síly přičení.

### 3.6.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ C

#### L12 – ZRYCHLENÍ BŘEMENE PŘI MAXIMÁLNÍ PROVOZNÍ RYCHLOSTI

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je vynásobena součinitelem  $\emptyset_1$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Hmotnost břemena zdvihu vynásobené součinitelem  $\emptyset_2$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .

$$L12 = ZS1 . \emptyset_1 . \gamma_p . \gamma_n + ZS2 . \emptyset_2 . \gamma_p . \gamma_n$$

$$L12 = ZS1 . 1,1 . 1,22 . 1,1 + ZS2 . 1,145 . 1,1 . 1,1 \quad (61)$$

$$L12 = 1,331 . ZS1 + 1,38545 . ZS2$$

#### L13÷L16 – ZATÍŽENÍ KOČKY PŘI ZKOUŠKÁCH

Dynamické

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je vynásobena součinitelem  $\emptyset_1$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Hmotnost břemena zdvihu vynásobené součinitelem  $\emptyset_6$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$  a zvětšením břemene na 110% hmotnosti.
- Zrychlení od pohonu pojezdu kočky a mostu vynásobená součiniteli  $\emptyset_5$  a dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$ .

$$L13 = ZS1 . \emptyset_1 . \gamma_p . \gamma_n + ZS2 . \emptyset_6 . \gamma_p . \gamma_n . 110\% + ZS3 . \emptyset_5 . \gamma_p + ZS4 . \emptyset_5 . \gamma_p$$

$$L13 = ZS1 . 1,1 . 1,1 . 1,1 + ZS2 . 1,0725 . 1,1 . 1,1 . 1,1 + ZS3 . 1,3 . 1,1 + ZS4 . 1,3 . 1,1 \quad (62)$$

$$L13 = 1,331 . ZS1 + 1,4275 . ZS2 + 1,43 . ZS3 + 1,43 . ZS4$$

Hodnoty zatížení L14, L15, L16 jsou shodné, rozdílné jsou pouze směry působení zrychlení od pohonů pojezdu kočky a mostu.

Statické

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je vynásobena součinitelem  $\emptyset_1$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .



- b) Hmotnost břemena zdvihu vynásobené součinitelem  $\emptyset_6$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$  a zvětšením břemene na 125% hmotnosti.

$$L17 = ZS1 \cdot \emptyset_1 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS2 \cdot \emptyset_6 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n \cdot 125\%$$

$$L17 = ZS1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + ZS2 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \quad (63)$$

$$L17 = 1,331 \cdot ZS1 + 1,5125 \cdot ZS2$$

#### L18÷L21 – ZATÍŽENÍ SILAMI NA NÁRAZNÍKY

Náraz kočky

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je vynásobena 1, dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Hmotnost břemena zdvihu vynásobené 1, dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Zrychlení způsobené zpomalením při nárazu kočky na nárazník vynásobené součiniteli  $\emptyset_7$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .

$$L18 = ZS1 \cdot \emptyset_1 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS2 \cdot \emptyset_6 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS6 \cdot \emptyset_7 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n$$

$$L18 = ZS1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + ZS2 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + ZS6 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \quad (64)$$

$$L18 = 1,21 \cdot ZS1 + 1,21 \cdot ZS2 + 1,936 \cdot ZS3 + 1,936 \cdot ZS4$$

Hodnota zatížení L19 je shodná, rozdílný je pouze směr působení zrychlení od nárazu kočky.

Náraz mostu

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je vynásobena 1, dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Hmotnost břemena zdvihu vynásobené 1, dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Zrychlení způsobené zpomalením při nárazu mostu na nárazník vynásobené součiniteli  $\emptyset_7$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .

$$L20 = ZS1 \cdot \emptyset_1 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS2 \cdot \emptyset_6 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS6 \cdot \emptyset_7 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n$$

$$L20 = ZS1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + ZS2 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + ZS6 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \quad (65)$$

$$L20 = 1,21 \cdot ZS1 + 1,21 \cdot ZS2 + 1,936 \cdot ZS3 + 1,936 \cdot ZS4$$

Hodnota zatížení L21 je shodná, rozdílný je pouze směr působení zrychlení od nárazu mostu.



### 3.6.4 ÚNAVOVÁ PEVNOST – KOMBINACE ZATÍŽENÍ A

#### L22÷L25 – ZDVIH A ULOŽENÍ BŘEMENA

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je vynásobena součinitelem  $\emptyset_1$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Hmotnost břemena zdvihu vynásobené součinitelem  $\emptyset_2$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- Zrychlení od pohonu pojezdu kočky a mostu vynásobená součiniteli  $\emptyset_5$  a dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$ .

$$L22 = ZS1 \cdot \emptyset_1 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS2 \cdot \emptyset_2 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS3 \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p + ZS4 \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p$$

$$L22 = ZS1 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,1 + ZS2 \cdot 1,123 \cdot 1 \cdot 1,1 + ZS3 \cdot 1,3 \cdot 1 + ZS4 \cdot 1,3 \cdot 1 \quad (66)$$

$$L22 = 1,21 \cdot ZS1 + 1,2353 \cdot ZS2 + 1,3 \cdot ZS3 + 1,3 \cdot ZS4$$

Hodnoty zatížení L23, L24, L25 jsou shodné, rozdílné jsou pouze směry působení zrychlení od pohonů pojezdu kočky a mostu.

#### L26 – ZRYCHLENÍ OD POHONU ZDVIHU

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je v první fázi vynásobena 1, dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ . V druhém kroku je ZS1 vynásobena součinitelem  $\emptyset_5$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ . Zrychlení od pohonu zdvihu je zahrnuto do síly od břemene tak, že je součet nosnosti a traverzy vynásoben zrychlením, které se skládá z gravitačního zrychlení krychelní od pohonu zdvihu.
- Hmotnost břemena zdvihu vynásobené 1, dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ . V druhém kroku je ZS2 vynásobeno součinitelem  $\emptyset_5$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$ .

$$F_b = (m_b + m_t) \cdot (g + a_z) = (330000 + 37688) \cdot (9,81 + 0,15) = 3662172,5N \quad (67)$$

$$L26 = ZS1 \cdot 1 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p + ZS2 \cdot 1 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p \quad (68)$$

$$L26 = ZS1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,1 + ZS2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1$$

$$L26 = 1,21 \cdot ZS1 + 1,21 \cdot ZS2$$

#### L27÷L30 – POJEZD PO NEROVNÉM POVRCHU

Obsahuje zatížení:

- Hmotnost kočky, která je vynásobena součinitelem  $\emptyset_4$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .





- b) Hmotnost břemena zdvihu vynásobené součinitelem  $\emptyset_4$ , dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$  a součinitelem rizika  $\gamma_n$ .
- c) Zrychlení od pohonu pojezdu kočky a mostu vynásobená součiniteli  $\emptyset_5$  a dílčím součinitelem bezpečnosti  $\gamma_p$ .

$$L27 = ZS1 \cdot \emptyset_4 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS2 \cdot \emptyset_4 \cdot \gamma_p \cdot \gamma_n + ZS3 \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p + ZS4 \cdot \emptyset_5 \cdot \gamma_p$$

$$L27 = ZS1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 + ZS2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,1 + ZS3 \cdot 1,3 \cdot 1 + ZS4 \cdot 1,3 \cdot 1 \quad (69)$$

$$L27 = 1,1 \cdot ZS1 + 1,1 \cdot ZS2 + 1,3 \cdot ZS3 + 1,3 \cdot ZS4$$

Hodnoty zatížení L28, L29, L30 jsou shodné, rozdílné jsou pouze směry působení zrychlení od pohonů pojezdu kočky a mostu.

### 3.6.5 SUMARIZACE A ZADÁVÁNÍ ZATÍŽENÍ DO VÝPOČTOVÉHO PROGRAMU

Pro výpočet a simulaci zatížení byl použit program NX I-deas 6.1. Do vytvořených modelů byla zadána výše uvedená zatížení, vytvořeny okrajové podmínky, zapnuty kinematické vazby a proveden výpočet všech zatížení. Aby byla spočítána všechna zatížení, musely by být vytvořeny všechny kombinace zvlášť a následně spočítány. Tento postup by byl velmi časově náročný, proto se použila funkce *combine*, která umožní jednotlivá, separovaně simulovaná zatížení spojit a případně vynásobit zvoleným koeficientem. Bylo tedy použito jednoho výpočtového modelu pro všechna zatížení, ve kterém se jednotlivě spočítají účinky zatížení a následně se vytvoří kombinace zatížení, které jsou spočítány v předchozích kapitolách. Pokud nastala ve výpočtu změna okrajových podmínek, musí být výpočet proveden znovu, aby bylo dosaženo odpovídajících výsledků.

Celkový přehled kombinací zatížení vychází z normy ČSN EN 13001-2. Je rozdělen do čtyř sloupců, kde je rozdělení kombinací, zatížení, označení v této práci, jejich popis, a okrajové podmínky. V tabulce jsou použity zkratky: KR – kočka rozjezd, KB – kočka brzdění, MR – most rozjezd, MB – most brzdění.



Tab. 13 Přehled všech kombinací zatížení

Kombinace zatížení	Označení	Popis	Okrajové podmínky
	L0	Zatížení od hmotnosti kočky a uchopovacích prostředků	
A1	L1	Zdvihání a ukládání břemena KRMR	Pojezd
	L2	Zdvihání a ukládání břemena KBMR	Pojezd
	L3	Zdvihání a ukládání břemena KRMB	Pojezd
	L4	Zdvihání a ukládání břemena KBMB	Pojezd
A3	L5	Zrychlení pohonu zdvihu	Pojezd
A4	L6	Pojezdo po nerovném povrchu nebo dráze KRMR	Pojezd
	L7	Pojezdo po nerovném povrchu nebo dráze KBMR	Pojezd
	L8	Pojezdo po nerovném povrchu nebo dráze KRMB	Pojezd
	L9	Pojezdo po nerovném povrchu nebo dráze KBMB	Pojezd
B5	L10	Pojezdo po nerovném povrchu s přičením směr + z	Přičení
	L11	Pojezdo po nerovném povrchu s přičením směr - z	Přičení
C1	L12	Zdvihání břemena při maximální provozní rychlosti zdvihu	Pojezd
C3	L13	Zatížení při zkouškách dynamické KRMR	Pojezd
	L14	Zatížení při zkouškách dynamické KBMR	Pojezd
	L15	Zatížení při zkouškách dynamické KRMB	Pojezd
	L16	Zatížení při zkouškách dynamické KBMB	Pojezd
	L17	Zatížení při zkouškách statické	Pojezd
C4	L18	Zatížení silami na nárazníky – náraz kočky + z	Náraz kočky
	L19	Zatížení silami na nárazníky – náraz kočky - z	Náraz kočky
	L20	Zatížení silami na nárazníky – náraz mostu + x	Náraz mostu
	L21	Zatížení silami na nárazníky – náraz mostu - x	Náraz mostu
Únava A1	L22	Únava - Zdvihání a ukládání břemena KRMR	Pojezd
	L23	Únava - Zdvihání a ukládání břemena KBMR	Pojezd
	L24	Únava - Zdvihání a ukládání břemena KRMB	Pojezd
	L25	Únava - Zdvihání a ukládání břemena KBMB	Pojezd
Únava A3	L26	Únava - Zrychlení pohonu zdvihu	Pojezd
Únava A4	L27	Únava - Pojezdo po nerovném povrchu nebo dráze KRMR	Pojezd
	L28	Únava - Pojezdo po nerovném povrchu nebo dráze KBMR	Pojezd
	L29	Únava - Pojezdo po nerovném povrchu nebo dráze KRMB	Pojezd
	L30	Únava - Pojezdo po nerovném povrchu nebo dráze KBMB	Pojezd

Dalším ulehčujícím faktorem je porovnání zatížení, ve kterých jsou shodné okrajové podmínky a zatížení. Porovnáním zvyšujících koeficientů a součinitelů můžeme některé zatížení vynechat a použít pro zhodnocení výsledků pouze ty, které mají nejvyšší zvyšující koeficienty a součinitele. Redukce těchto zatížení lze provést například mezi zatíženími A1, A3, C3. Tato redukce ale nelze použít pro zatížení uvnitř skupiny A1 pro zatížení L1 až L4, jelikož v těchto zatíženích jsou odlišné směry zrychlení a proto nemůžeme před analýzou určit, které zatížení je nejnebezpečnější. Tento typ redukce lze provést až ve fázi zhodnocování výsledků.

Porovnáním těchto koeficientů a součinitelů se nám počet kombinací zatížení zredukuje dle následující tabulky:



Tab. 14 Kombinace zatížení po redukci

Kombinace zatížení	Označení	Popis	Okrajové podmínky
	L0	Zatížení od hmotnosti kočky a uchopovacích prostředků	
A1	L1	Zdvihání a ukládání břemena KRMR	Pojezd
	L2	Zdvihání a ukládání břemena KBMR	Pojezd
	L3	Zdvihání a ukládání břemena KRMB	Pojezd
	L4	Zdvihání a ukládání břemena KBMB	Pojezd
A3	L5	Zrychlení pohonu zdvihu	Pojezd
B5	L10	Pojezdo po nerovném povrchu s přičením směr + z	Přičení
	L11	Pojezdo po nerovném povrchu s přičením směr - z	Přičení
C4	L18	Zatížení silami na nárazníky – náraz kočky + z	Náraz kočky
	L19	Zatížení silami na nárazníky – náraz kočky - z	Náraz kočky
	L20	Zatížení silami na nárazníky – náraz mostu + x	Náraz mostu
	L21	Zatížení silami na nárazníky – náraz mostu - x	Náraz mostu
Únava A1	L22	Únava - Zdvihání a ukládání břemena KRMR	Pojezd
	L23	Únava - Zdvihání a ukládání břemena KBMR	Pojezd
	L24	Únava - Zdvihání a ukládání břemena KRMB	Pojezd
	L25	Únava - Zdvihání a ukládání břemena KBMB	Pojezd
Únava A3	L26	Únava - Zrychlení pohonu zdvihu	Pojezd

Počet zatížení se po redukci snížil počtu 31 na 17. Tento krok významně zkrátí dobu analýzy a zhodnocování výsledků, aniž by se snížila kvalita výsledku, jelikož redukovaná zatížení jsou obsažena v zatíženích, která se budou analyzovat.

### 3.6.6 VÝBĚR NEJNEPŘÍZNIVĚJŠÍCH ZATÍŽENÍ PRO ANALÝZU POJEZDU PO TŘECH PODVOZCÍCH

Dalším nebezpečným zatěžujícím stavem, který by teoreticky v provozu mohl nastat, je přenášení zatížení pouze na tři podvozky kočky. Tento zatěžující stav může nastat vlivem mnoha aspektů, které se ovšem mohou v provozu naskytnout. Jedním z mnoha těchto nepříznivých vlivů je například průhyb pojezdové dráhy pro kola vlivem zatížení, nepřesné výroby, opotřebování konstrukčních prvků, atd.

Pro tento případ jsou vytvořeny další zatěžující stavy. Z výše uvedených zatěžujících stavů jsou vybrány kombinace zatížení s největší hodnotou zvyšujících součinitelů. Následně jsou z nich vytvořeny další kombinace zatížení. Pro tato zatížení jsou upraveny okrajové podmínky, tak aby bylo zaručeno, že vždy jeden podvozek nebude zavazben. Těmito kombinacemi vznikne 8 nových zatížení dle následující tabulky:



Tab. 15 Dodatečná zatížení při pojezdu po třech podvozcích

Kombinace zatížení	Označení	Popis	Nezavazbený podvozek
L3	L31	Zdvihání a ukládání břemena	P1
	L32	Zdvihání a ukládání břemena	P2
	L33	Zdvihání a ukládání břemena	P3
	L34	Zdvihání a ukládání břemena	P4
L5	L35	Zrychlení pohonu zdvihu	P1
	L36	Zrychlení pohonu zdvihu	P2
	L37	Zrychlení pohonu zdvihu	P3
	L38	Zrychlení pohonu zdvihu	P4

V praxi by tento stav za běžných podmínek neměl nastat. Kola by měla být vždy v kontaktu s dráhou. Skutečnost zatížení kol je taková, že nikdy nejsou všechna kola rovnoměrně zatížena. Použitím těchto zatěžovacích stavů, se zjistí maximální teoretická hodnota, která je možná. Skutečný provozní stav se pohybuje někde mezi hodnotami pro zatížení všech kol a hodnotami pro zatížení třech podvozků.



## 4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Vyhodnocení výsledků je provedeno vždy jako porovnání prutového a skořepinového modelu. V první části se tato kapitola zabývá kontrolou pevnosti. V prutovém modelu je napětí a deformace zobrazena přímo na prutu. Pro skořepinový model je nastaveno průměrování hodnot na prvku Top and Bottom, což znamená rozdíl napětí na horní spodní straně elementu. Je nastaveno zobrazování napětí dle podmínky HMH. Pro toto napětí jsou výsledky porovnávány s návrhovou únosností normálového napětí:  $f_{rd\sigma} = 314 \text{ MPa}$

V další části kapitoly se vyhodnocují výsledky únavové pevnosti. Na prutovém modelu jsou odečítány přímo hodnoty, které program uvede v příslušném řezu prutu. U skořepinového modelu je volen vždy element, z kterého jsou odečteny příslušné hodnoty.

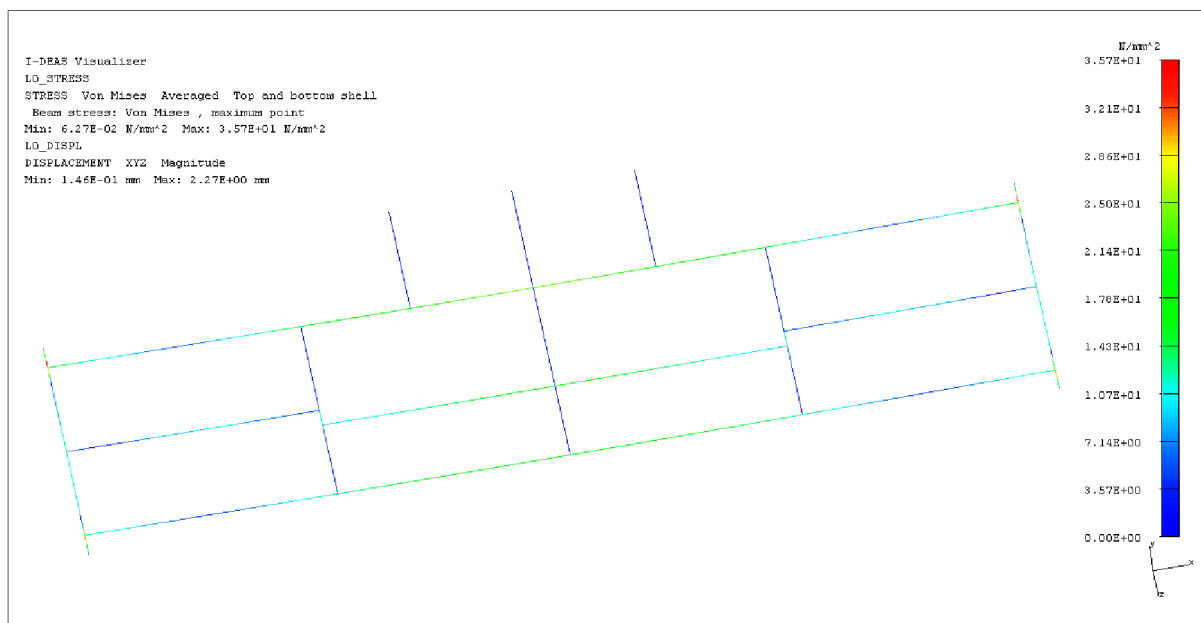
### 4.1 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Zhodnocení výsledků kombinací zatížení je provedeno porovnáním obou modelů. Na obou modelech se zaměřuje na hodnoty napětí ve stejných místech. Jsou volena místa, která neobsahují špičky napětí. V prutovém modelu jsou napěťové špičky důsledkem napojení kolmých prutů nebo změnou průřezů prutů. Na skořepinovém modelu jsou tato místa na kolmém napojení dvou plechů (žebro na pásnici), protože se zde mění tuhost skokově. Dalšími místy jsou například vruby nebo působíště sil.

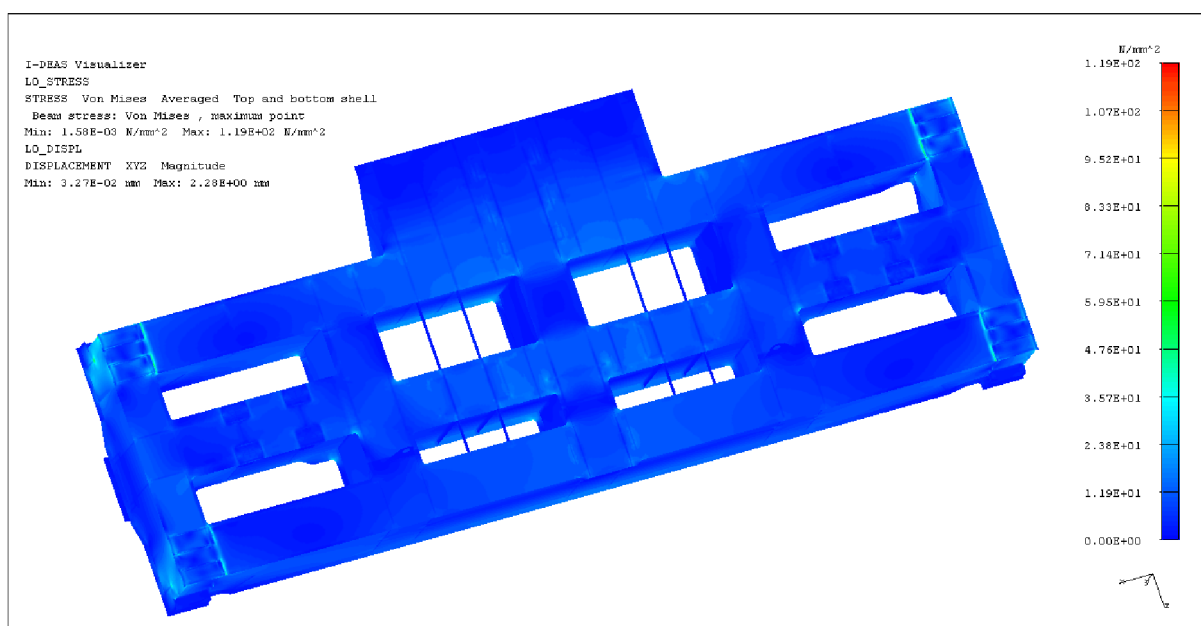
U prutového modelu je zobrazen celý rám kočky a odečítá se hodnota nejvyššího napětí ve zvoleném místě. Pro skořepinový model je zobrazena jen konstrukční část, na které se dané napětí nachází. Celkové schéma napětí je pak zobrazeno v odpovídajících přílohách.

#### 4.1.1 KOMBINACE ZATÍŽENÍ L0

Zatížení L0 není ovlivněno žádnými zvětšujícími koeficienty. Výsledek zobrazuje rozložení napětí na rámu, které se zde vyskytuje, když kočka není zatížena. Jsou to nejmenší možné hodnoty v provozu.



Obr. 21 Prutový model pro kombinace L0 - nejmenší hodnoty napětí z celého souboru kombinací zatížení



Obr. 22 Kombinace zatížení L0 - skořepinový model

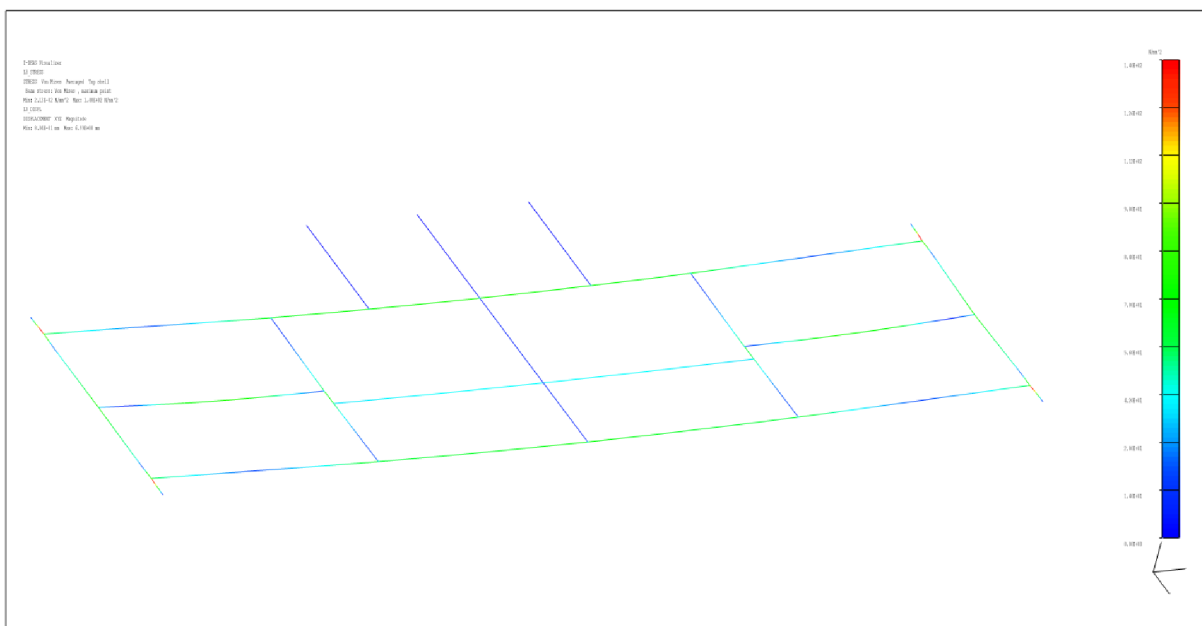
Tento zatěžovací stav nám může napovědět, na kterých místech můžeme v následujících zatížení očekávat největší napětí.

#### 4.1.2 KOMBINACE ZATÍŽENÍ L1 ÷ L4

V této skupině kombinací je vybráno jako zástupce celé skupiny zatížení L3, jelikož hodnoty napětí a posuvů dosahují největších hodnot, ikdyž jen velmi nepatrně. Zatížení tvoří rozjezd a brzdění kočky a mostu v čtyřech různých kombinacích. Další částí zatížení je nosnost a hmotnost kočky. Všechna tato zatížení jsou zvětšena pomocí součinitelů dle normy.



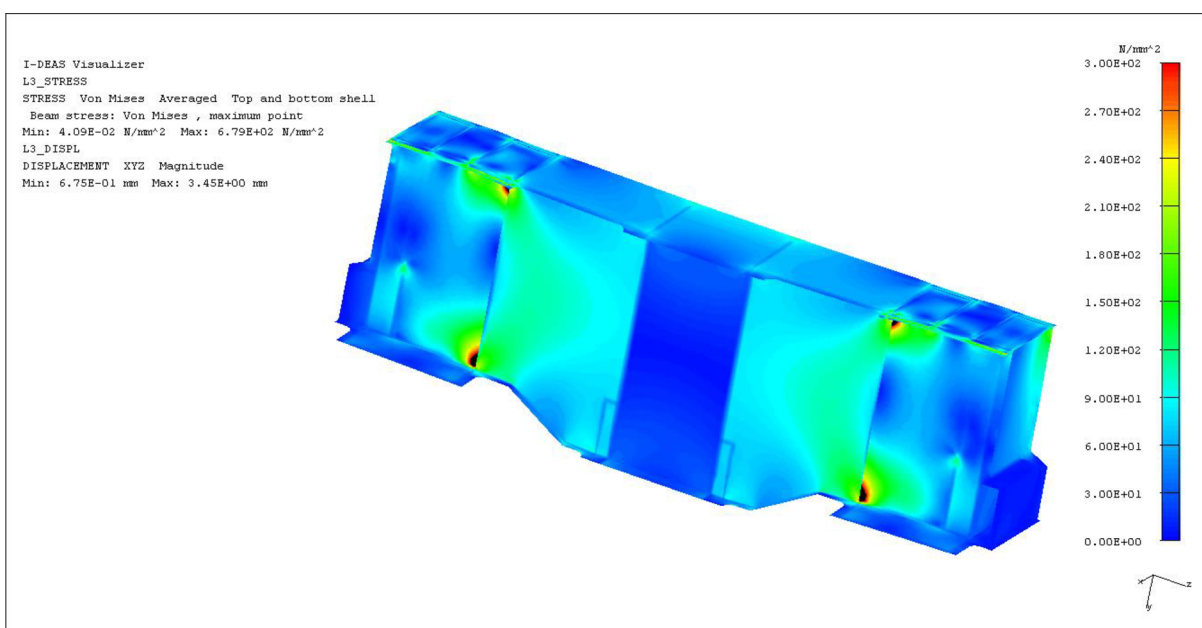
Maximální napětí na prutovém modelu je rovno 98MPa.



Obr. 23 Prutový model celého rámu kočky při zatážení L3

Výsledná hodnota napětí skořepinového modelu podle podmínky HMM je zastoupena na příčnicích. Zde se maximální hodnota pohybuje mezi kolem 140MPa.

Místa, která vykazují větší napětí, než je zde uvedeno, jsou ovlivněna špičkami napětí. Největší hodnoty jsou v místech, kde jsou rohy žebrování spojeny horní pásnicí a stojnou příčnicí. Toto napětí je ovlivněno tím, že žebro v modelu nemá zkosení, tak jako v reálné situaci. Celkové schéma skořepinového modelu je uvedeno v Příloze 5.



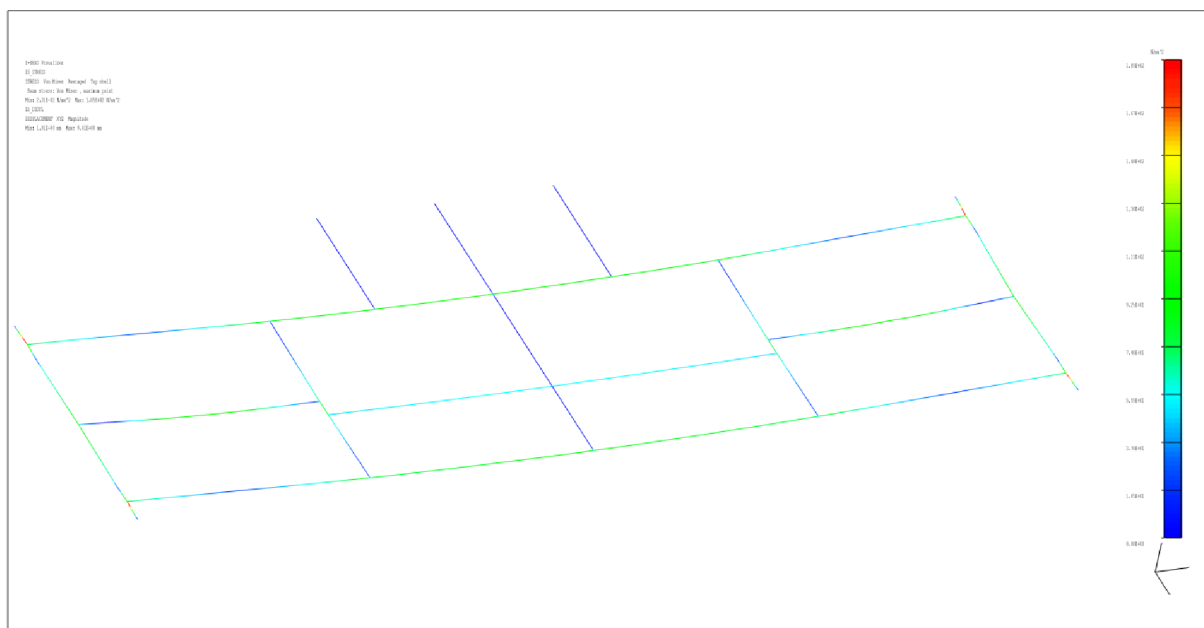
Obr. 24 Detail příčnicku skořepinového modelu při zatážení L3



### 4.1.3 KOMBINACE ZATÍŽENÍ L5

Tato kombinace zatížení vykazuje největší napětí ze všech posuzovaných kombinací. Součinitelé zvyšují hodnoty svislé zatížení ZS1 a ZS2 na dvojnásobek. Zatížení je definováno jako zatížení od zrychlení pohonu zdvihu. Výsledné hodnoty jsou klíčové pro posouzení rámu z hlediska kontroly pevnosti.

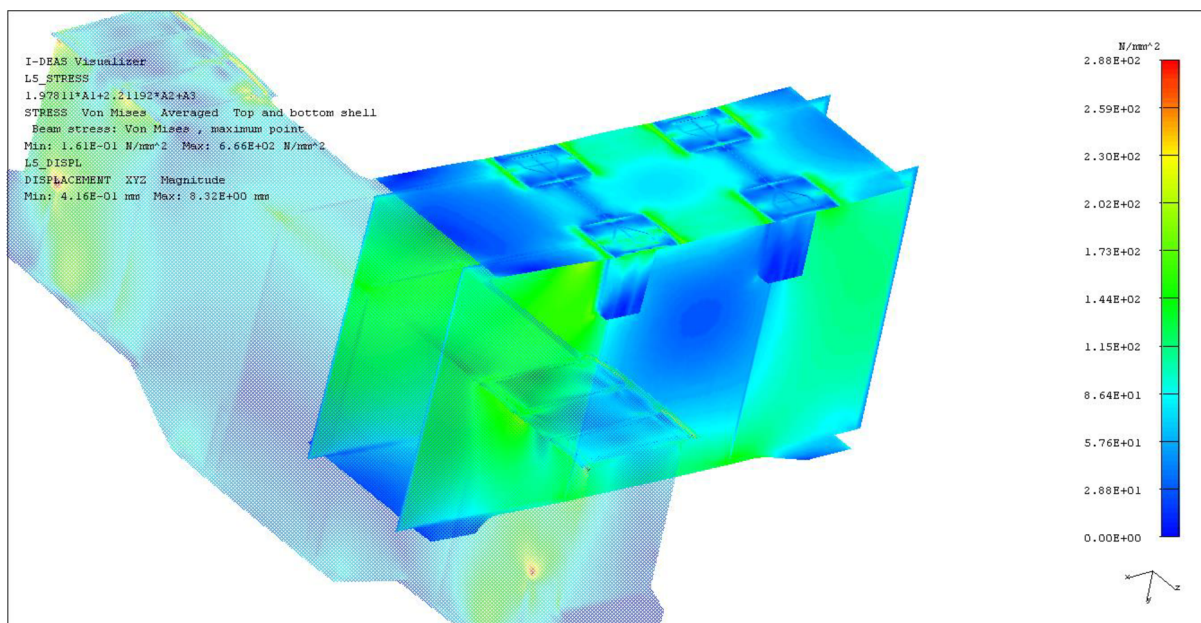
V prutovém modelu napětí dosahuje rozmezí  $110 \div 130\text{MPa}$



Obr. 25 Prutový model - zatážení od zrychlení pohonu zdvihu

Nejvyšší napětí se opět vyskytuje na příčnicích v místech napojení na hlavní nosníky, ale také na vnitřním nosníku, na kterém je umístěna horní kladnice. Maximální hodnota napětí, která není ovlivněna špičkami napětí, je  $175\text{MPa}$ . Rozložení napětí na celém rámu je zobrazeno v Příloze 6.

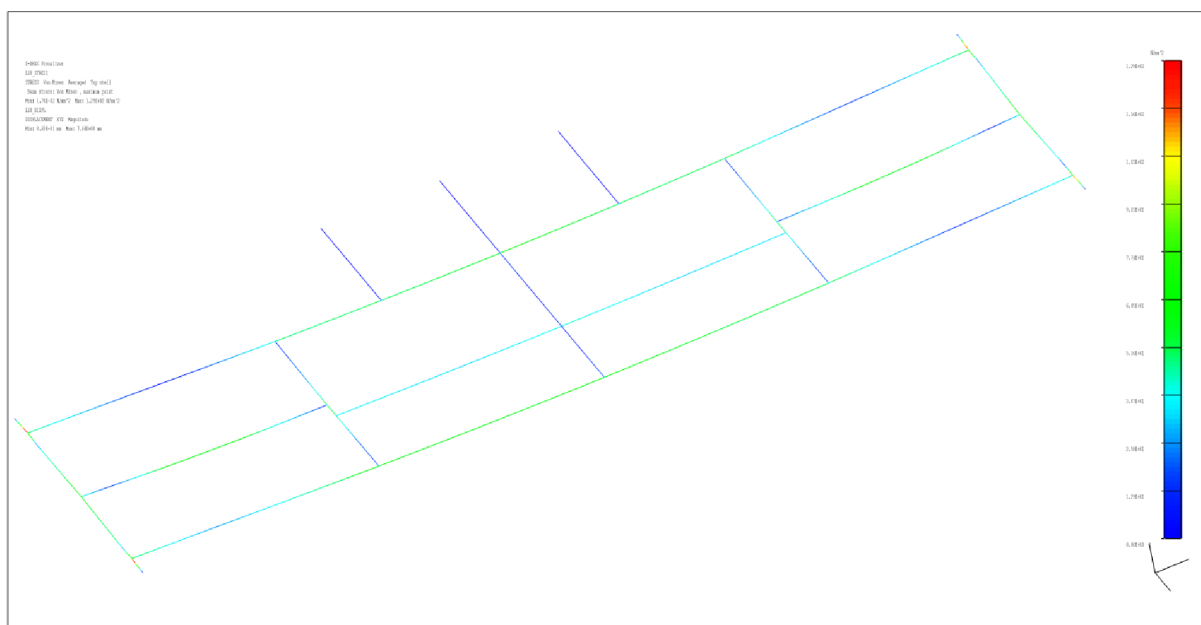




Obr. 26 Detail skořepinové modelu při zatížení kombinací L5

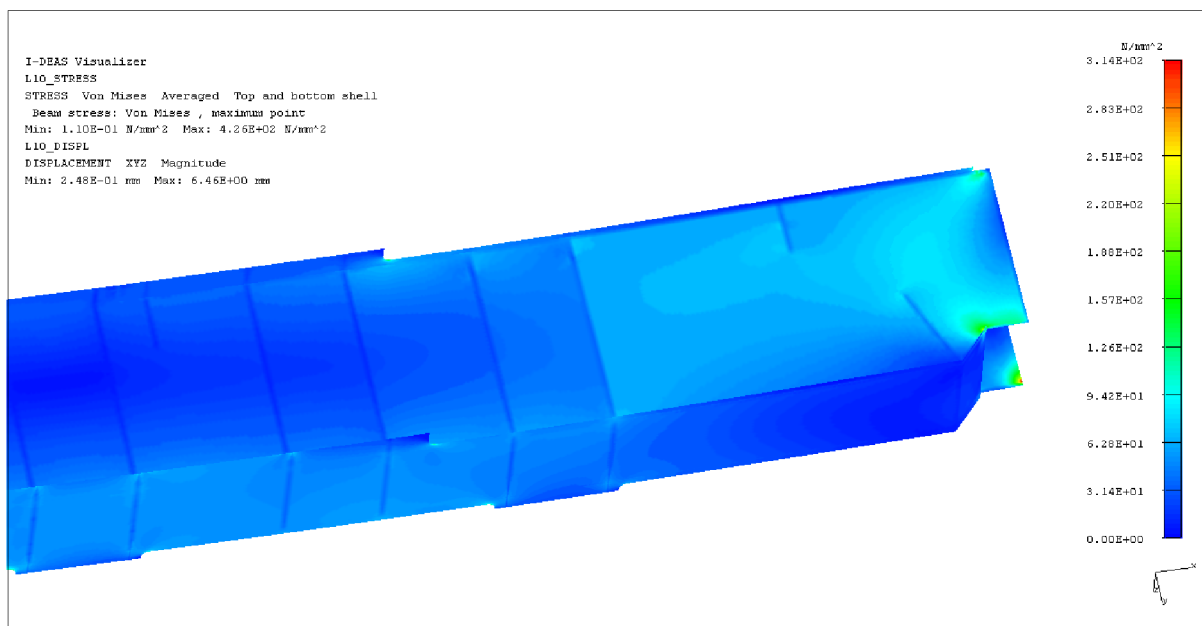
#### 4.1.4 KOMBINACE ZATÍŽENÍ L10 A L11

Tento soubor zatížení zastupuje výsledek L10, jelikož jeho hodnoty a posuvů napětí jsou nepatrně vyšší než L11. Zatížení simuluje vlivy při přičení kočky. Na jednu pojezdovou stranu rámu jsou aplikovány síly od přičení, které v případě zatížení L10 mají shodný směr jako je pojezd kočky.



Obr. 27 Rendr zatížení kombinací L10 - přičení kočky - prutový model

Skořepinový model vykazuje nejvyšší napětí o velikosti 100MPa. Na obrázku je uveden nosník N2, na kterém je zobrazeno místo s největším napětím. V Příloze 7 je vyobrazení celého rámu.

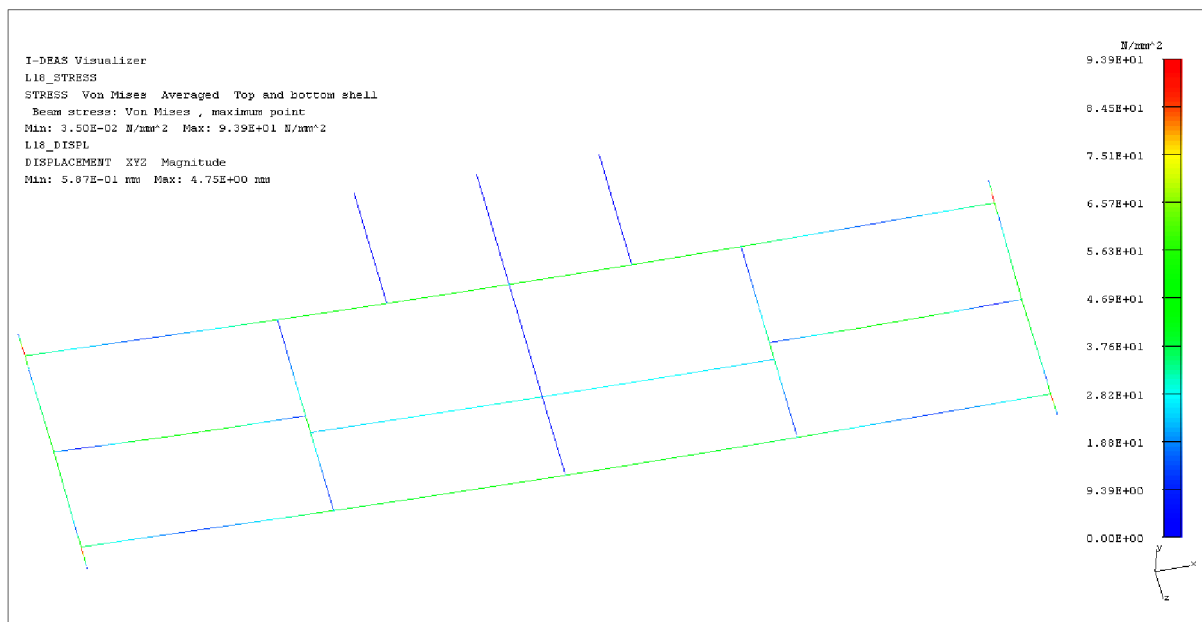


Obr. 28 Detail nosníku při přičení kočky - skořepinový model

#### 4.1.5 KOMBINACE ZATÍŽENÍ L18 A L19

Tato kombinace zatížení simulují náraz kočky na nárazníky. Kočka je vybavena dvěma konzolami, které jsou při nárazu v kontaktu s mostem jeřábu. V horizontálním směru je zatížení od zpomalení kočky při nárazu. Na rám působí také břemeno.

Prutový model dosahuje nižší hodnoty napětí než model skořepinový. Hodnota napětí je  $65 \div 70$  MPa.

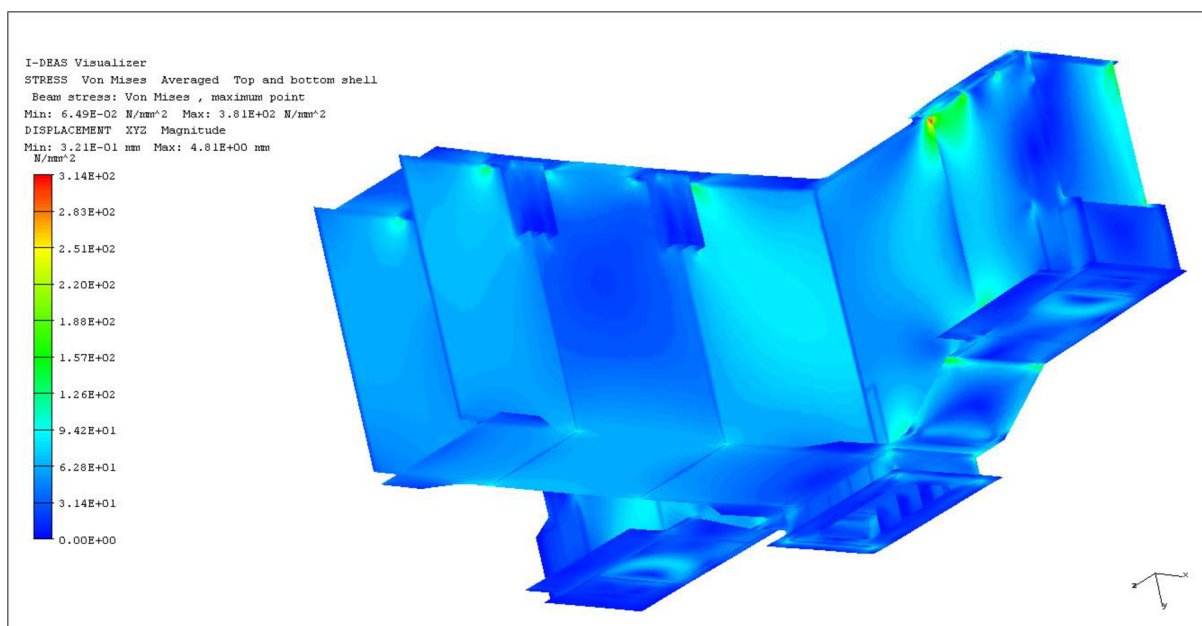


Obr. 29 Prutový model - náraz kočky.

Skořepinový model vykazuje větší napětí a posuvy při pohybu ve směru bočního vysunutí rámu. Vyobrazení níže představuje vnitřní nosník, na kterém je uložena horní kladnice



s ukončením lana a levý příčník. Nechybí ani stolička pro uchycení nárazníku. Nejvyšší hodnoty napětí jsou v místě napojení vnitřního nosníku na příčník. Napětí dle podmínky HMH je  $90 \div 100 \text{ MPa}$ . Zatížení na celém rámu je v Příloze 8.

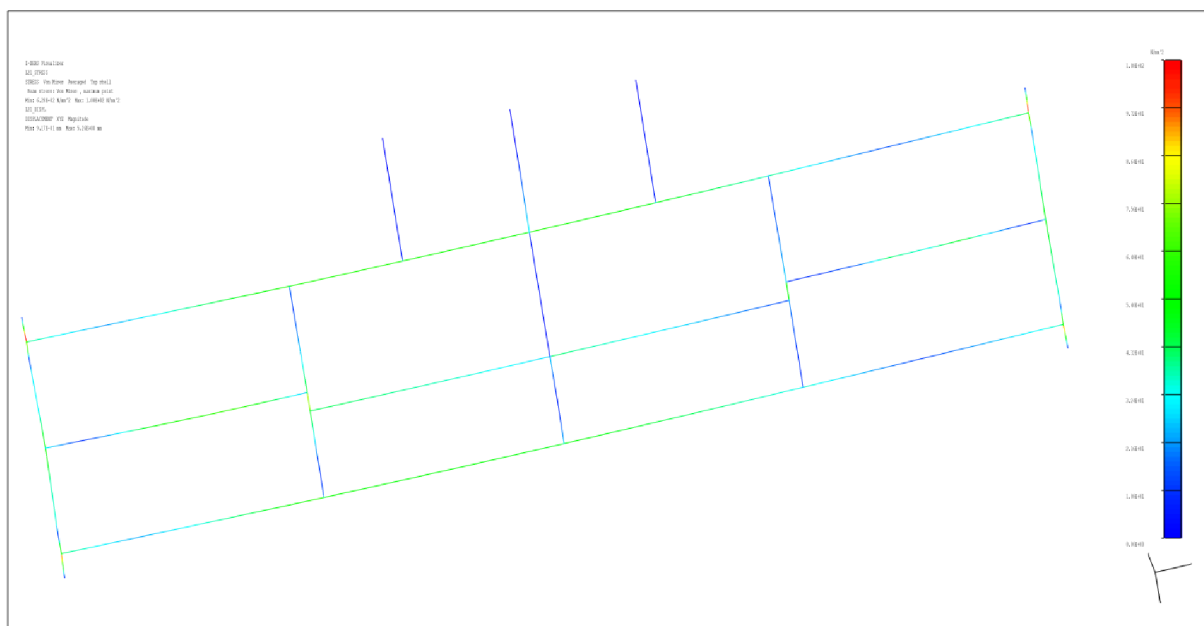


Obr. 30 Detail největších napětí pro zatížení L18 - skořepinový model

#### 4.1.6 KOMBINACE ZATÍŽENÍ L20 A L21

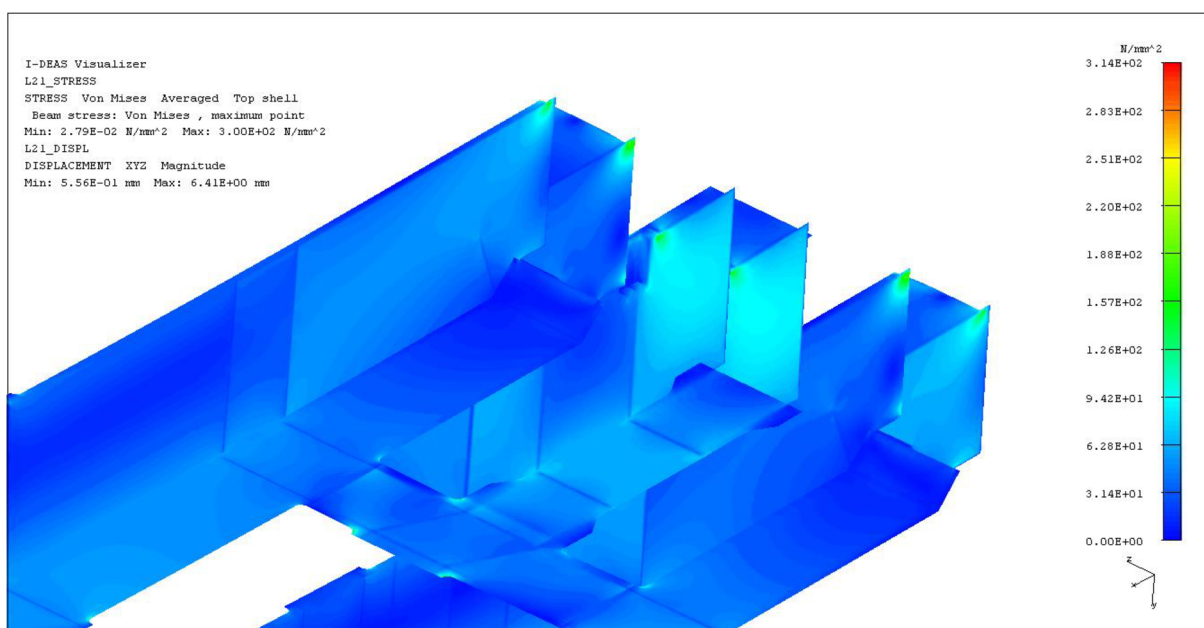
Napětí pro tyto kombinace je způsobeno nárazem mostu jeřábu na nárazníky dráhy. Zatížení je nastaveno jako zpomalení jeřábu při nárazu. Působí v horizontálním směru. Ve vertikálním směru figuruje nosnost a hmotnost kočky.

Maximální hodnota napětí na prutovém modelu dosahuje 85MPa.



Obr. 31 Prutový model pro kombinaci zatížení L21

V porovnání s nárazem kočky jsou napětí vyšší. To je způsobeno tím, že zpomalení od nárazu mostu je oproti nárazu kočky několikanásobně větší. Maximální hodnota napětí skořepinového modelu je 100MPa. V příloze 9 je vyobrazení celého rámu.



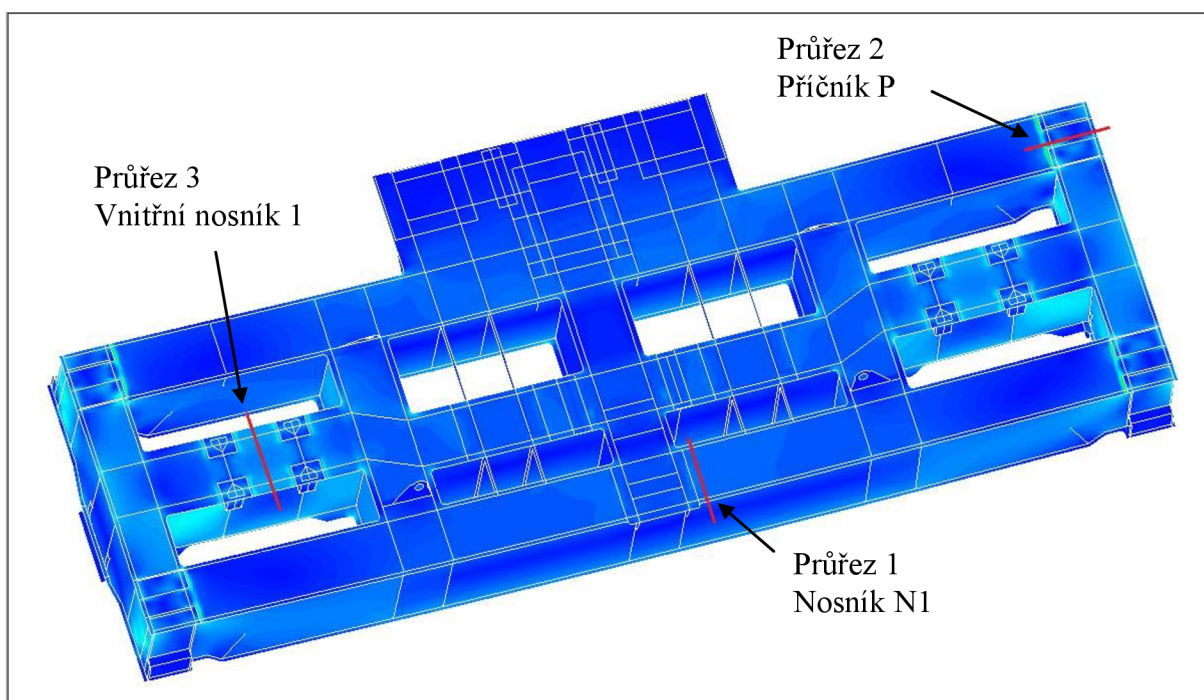
Obr. 32 Detail napětí na nosnících pro kombinaci zatížení L21

## 4.2 ÚNAVOVÁ PEVNOST

K prokázání únavové pevnosti byly zvoleny tři místa z konstrukce rámu. Prvním je nosník N1. Zkoumané místo je uprostřed nosníku v blízkosti napojení na vnitřní příčník. Druhá část rámu je pravý příčník. Kontrolovaná část se nachází v blízkosti napojení na hlavní nosník N2. Poslední částí je vnitřní nosník, na kterém je připevněná horní kladnice. Je zvoleno místo uprostřed toho nosníku. Pro posuzování byly vybrány oblasti s nejvyššími hodnotami napětí



v blízkosti přivařených žeber, tak aby nebyly výsledky přímo ovlivněny napět'ovými špičkami.



Obr. 33 Znáznornění řezů pro kontrolu únavové pevnosti

Pro průřezy musí být splněny podmínky:

$$\Delta\sigma_{Sd} \leq \Delta\sigma_{Rd} = 100,8 \text{ MPa} \quad (70)$$

$$\Delta\sigma_{Sd} = \max\sigma - \min\sigma \quad (71)$$

$\Delta\sigma_{Rd}$  – dovolený rozkmit napětí [MPa]

$\Delta\sigma_{Sd}$  – největší návrhová hodnota rozkmitu napětí [MPa]

$\max\sigma$  – maximální hodnota návrhového napětí [MPa]

$\min\sigma$  – minimální hodnota návrhového napětí [MPa]

Výše uvedený způsob prokázání únavové pevnosti je pro navzájem kolmé složky napětí  $\sigma_x$  a  $\sigma_y$  a pro smykové napětí  $\tau$ . Tato kontrola se provádí v jednom bodě průřezu [5] (str.41). Normálové napětí  $\sigma_y$  nastává jen, když v podélné ose nosníku přítomno například žebro. Jeho hodnota bývá velmi nízká. Z tohoto důvodu není uvažováno v této analýze.

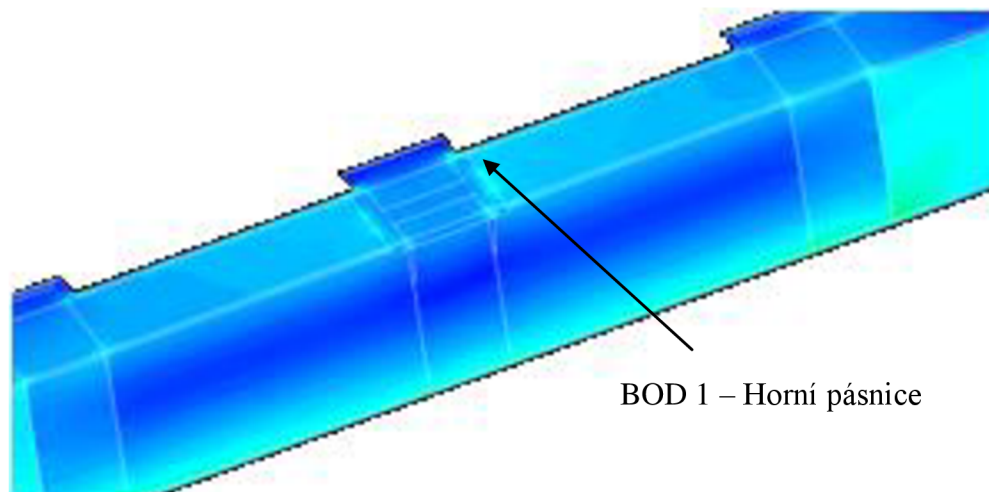
Zbylá napětí potřebná pro kontrolu únavové pevnosti jsou zahrnuta a uvedena vždy v příslušné tabulce kontrolovaného bodu.

Při kontrole se vychází z kombinace zatížení L0, které má v sobě nejnižší hodnoty napětí v provozu kočky. Druhým porovnávacím napětím bude kombinace zatížení L22 ÷ L25 a L26. Posouzení je provedeno ve dvou bodech a to horní a spodní pásnici nosníků.



#### 4.2.1 PRŮŘEZ 1 – HLAVNÍ NOSNÍK N1

Nejvyšší hodnoty napětí jsou v kombinaci zatížení L24. Detailní pohled na vybraná místa jsou uvedena na obrázku níže. Na horní pásnici je bod 1. Bod 2 se nachází úhlopříčně na spodní pásnici nosníku.



Obr. 34 Znárodnění kontrolovaného elementu pro únavovou pevnost - průřez 2

Horní pásnice – tlak bod 1 (element 321425, uzel 326481)

Kombinace zatížení L0

$$\tau = \tau_{xy} + \tau_{yz} = 0,57 + 0 = 0,57MPa$$

Kombinace zatížení L24

$$\tau = \tau_{xz} + \tau_{yz} = 2,75 + 0 = 2,75MPa$$

Spodní pásnice – tah bod 2 (element 326205, uzel 327051)

Kombinace zatížení L0

$$\tau = \tau_{xz} + \tau_{yz} = 0,17 + 0 = 0,17MPa$$

Kombinace zatížení L24

$$\tau = \tau_{xz} + \tau_{yz} = 2,42 + 0 = 2,42MPa$$



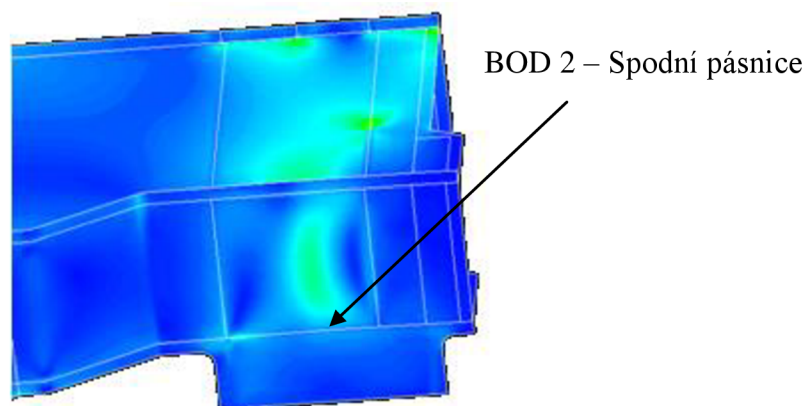
Tab. 16 Vyhodnocení únavové pevnosti pro průřez 1

Napětí	Prutový model				Skořepinový model			
	$\sigma_x$		$\tau$		$\sigma_x$		$\tau$	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Horní pásnice	-17,8	-39,1	1,45	4,2	-10,7	-34,9	0,57	2,75
$\Delta\sigma_{Sd}$	21,3		2,75		27,2		2,18	
$\Delta\sigma_{Rd}$	<b>100,8MPa</b>							
Spodní pásnice	19,1	63,4	2,8	5,3	16,7	58,2	0,17	2,42
$\Delta\sigma_{Sd}$	44,3		2,5		41,5		2,25	
$\Delta\sigma_{Rd}$	<b>100,8MPa</b>							

Z hlediska únavové pevnosti Nosník N1 **VYHOVUJE**.

#### 4.2.2 PRŮŘEZ 2 – PŘÍČNÍK P

Nejvyšší hodnoty napětí jsou v kombinaci zatížení L26. Detailní pohled na vybraná místa jsou uvedena na obrázku níže. Na horní pásnici je bod 1. Bod 2 se nachází úhlopříčně na spodní pásnici nosníku.



Obr. 35 Znárodnění kontrolovaného elementu pro únavovou pevnost - průřez 2

Horní pásnice – tlak bod 1 (element 517234, uzel 522219)

Kombinace zatížení L0

$$\tau = \tau_{xz} + \tau_{yz} = 0,55 + 0,53 = 1,06MPa$$

Kombinace zatížení L26

$$\tau = \tau_{xz} + \tau_{yz} = 0,47 + 2,59 = 3,06MPa$$



Spodní pásnice – tah bod 2 (element 1048839, uzel 1077661)

Kombinace zatížení L0

$$\tau = \tau_{xz} + \tau_{yz} = 2,33 + 2,16 = 4,46 \text{MPa}$$

Kombinace zatížení L26

$$\tau = \tau_{xz} + \tau_{yz} = 11 + 13,3 = 24,4 \text{MPa}$$

Tab. 17 Vyhodnocení únavové pevnosti pro průřez 2

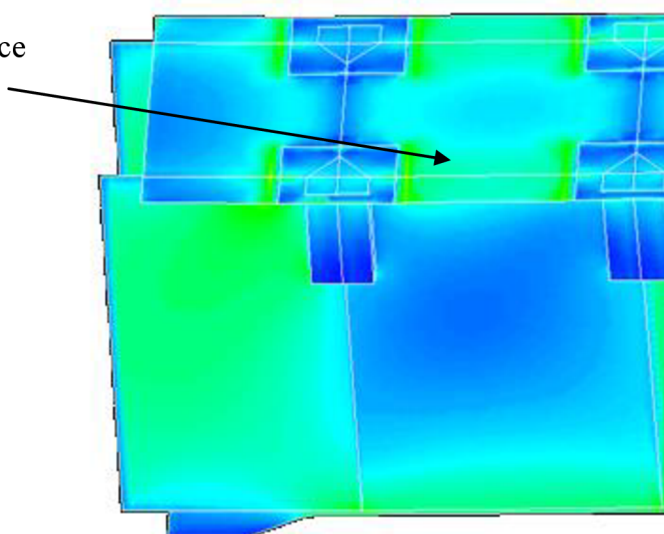
Napětí	Prutový model				Skořepinový model			
	$\sigma_x$		$\tau$		$\sigma_x$		$\tau$	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Horní pásnice	-28,3	-50	1,38	5,11	-24,8	-47,6	1,06	3,06
$\Delta\sigma_{Sd}$	21,7		3,73		22,8		2	
$\Delta\sigma_{Rd}$	<b>100,8MPa</b>							
Spodní pásnice	4,2	17,8	6,3	18,2	2,41	13,3	4,46	24,4
$\Delta\sigma_{Sd}$	13,6		11,9		10,89		19,94	
$\Delta\sigma_{Rd}$	<b>100,8MPa</b>							

Z hlediska únavové pevnosti příčník P **VYHOVUJE**.

#### 4.2.3 PRŮŘEZ 3 – VNITŘNÍ NOSNÍK 1

Nejvyšší hodnoty napětí jsou v kombinaci zatížení L24. Detailní pohled na vybraná místa jsou uvedena na obrázku níže. Na horní pásnici je bod 1. Bod 2 se nachází úhlopříčně na spodní pásnici nosníku.

BOD 1 – Horní pásnice



Obr. 36 Znáznornění kontrolovaného elementu pro únavovou pevnost - průřez 3





Horní pásnice – tlak bod 1 (element 762072, uzel 776124)

Kombinace zatížení L24

$$\tau = \tau_{xy} + \tau_{yz} = 0,6 + 0 = 0,6 \text{ MPa}$$

Kombinace zatížení L26

$$\tau = \tau_{xz} + \tau_{yz} = 0,99 + 0 = 0,99 \text{ MPa}$$

Spodní pásnice – tah bod 2 (element 788985, uzel 774672)

Kombinace zatížení L0

$$\tau = \tau_{xz} + \tau_{yz} = 0,66 + 0 = 0,66 \text{ MPa}$$

Kombinace zatížení L26

$$\tau = \tau_{xz} + \tau_{yz} = 1,13 + 0 = 1,13 \text{ MPa}$$

Tab. 18 Vyhodnocení únavové pevnosti pro průřez 3

Napětí	Prutový model				Skořepinový model			
	$\sigma_x$		$\tau$		$\sigma_x$		$\tau$	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Horní pásnice	-6,05	-47,3	0,38	0,98	-7,13	-54,8	0,6	0,99
$\Delta\sigma_{Sd}$	43,25		0,6		47,67		0,39	
$\Delta\sigma_{Rd}$	<b>100,8</b>							
Spodní pásnice	5,7	13,01	0,48	6,8	8,72	14,6	0,66	1,13
$\Delta\sigma_{Sd}$	7,31		6,32		41,5		0,47	
$\Delta\sigma_{Rd}$	<b>100,8</b>							

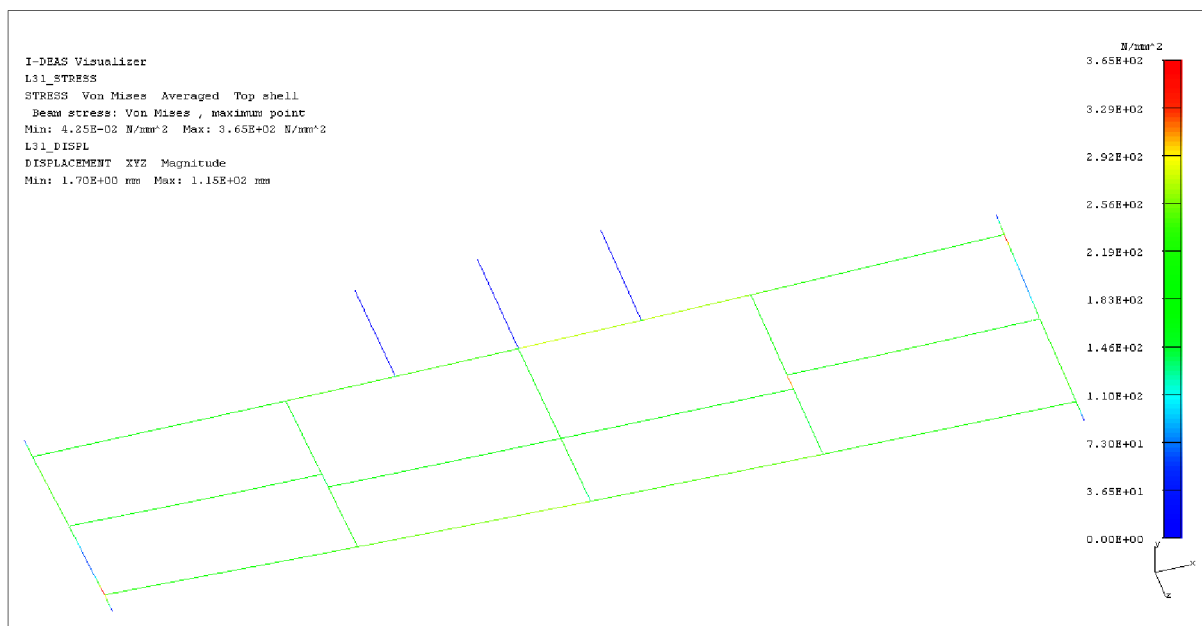
Z hlediska únavové pevnosti vnitřní nosník 1 **VYHOVUJE**.

### 4.3 DALŠÍ ZATÍŽENÍ

#### 4.3.1 KOMBINACE ZATÍŽENÍ L31 ÷ L34

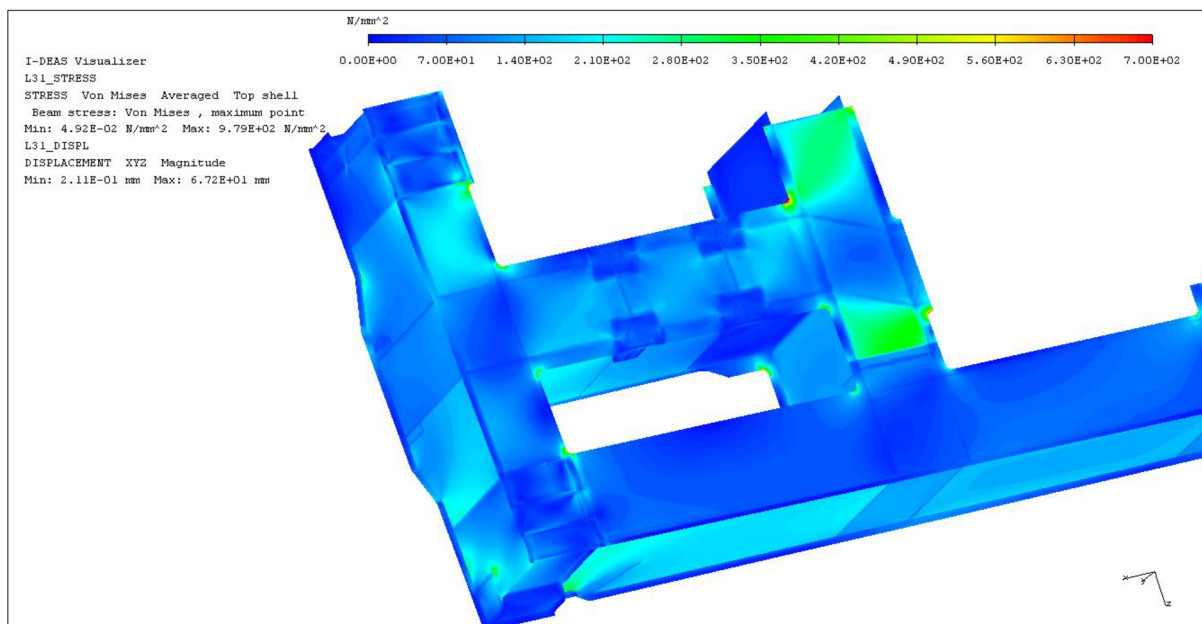
Mezním posouzením pevnosti zatížení, kdy kočka je v kontaktu s dráhou pouze třemi koly. Nejhorší výsledky byly dosaženy v kombinaci zatížení L31.

Znázorněné zatížení má nejvyšší hodnotu napětí a to 300MPa mimo špičky napětí.



Obr. 37 Zatížení L31 na prutovém modelu.

U skořepinového modelu dosahujeme napětí o velikostech 420MPa. Tato napětí se nejvíce projevují na vnitřních příčnicích. Výskyt nejvyšších napětí se objevilo na tomto místě poprvé. Důvodem je velké kroucení rámu kočky, kvůli absenci jedné podpory v podobě pojízdějícího kola.



Obr. 38 Skořepinový model – ukázka největších napětí dle podmínky HMM. Jedná se o zatížení L31

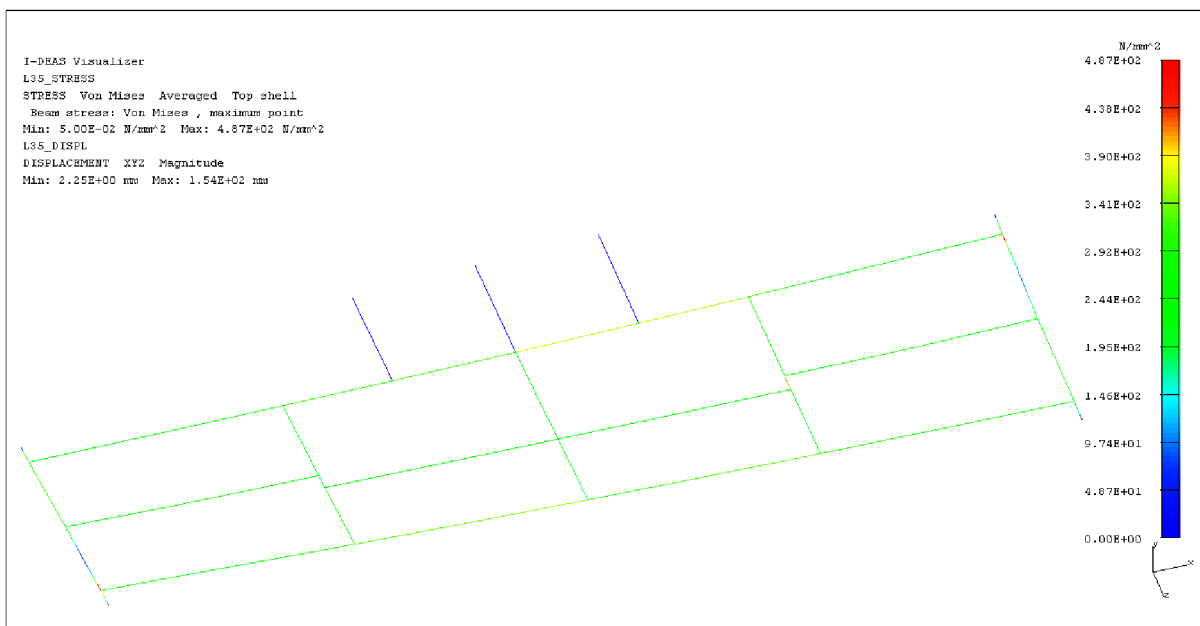
V Příloze 10 je vyobrazení celého rámu.

#### 4.3.2 KOMBINACE ZATÍŽENÍ L35 ÷ L38

Tato kombinace zatížení se vyznačuje nejvyššími hodnotami zvětšujících součinitelů zatížení. Proto se dá očekávat nejvyšších hodnot napětí.

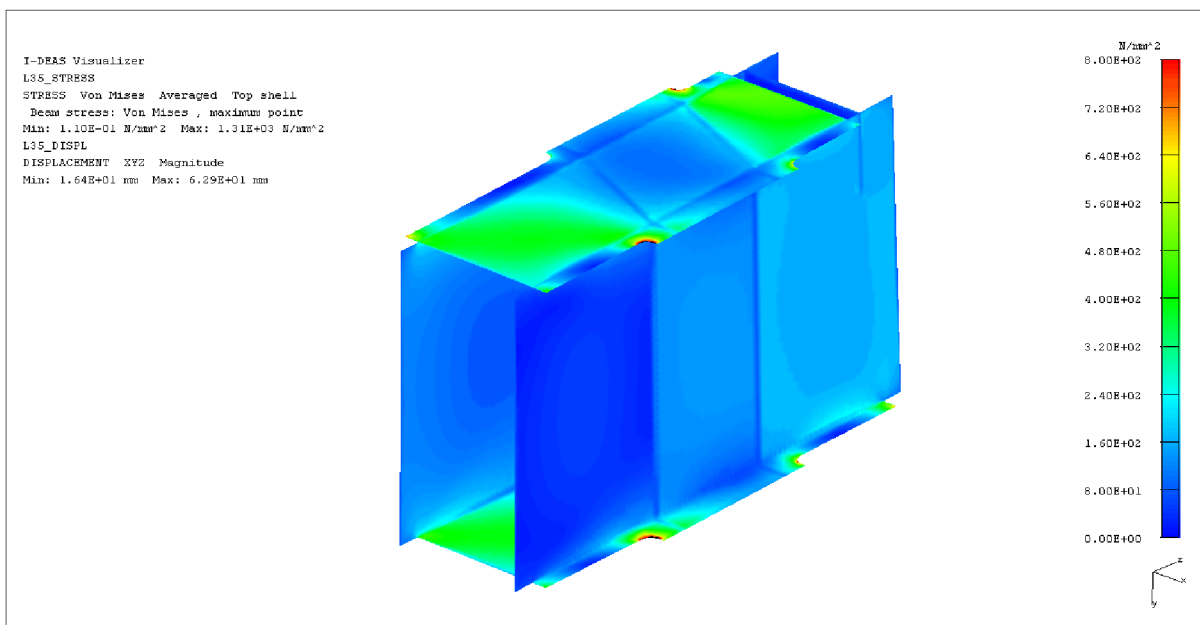


Pro prutový model jsou tato napětí v rozmezí  $360 \div 400 \text{ MPa}$ .



Obr. 39 Prutový model zatížení L35

Jak bylo uvedeno v předchozí podkapitole, největší napětí se vyskytují na vnitřních příčnicích. U tohoto největší zatížení dosahují až  $530 \text{ MPa}$ . Schéma zatížení celého rámu je v Příloze 11.



Obr. 40 Zatížení L35. Zobrazen vnitřní příčník.



#### 4.4 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Z výsledků pevnostních analýz vyplývá, že rám je dostatečně navržen dle požadavků normy ČSN EN 13001. Výsledky ukazují, že se zde nenacházejí poddimenzovaná místa na rámu, které by měly důsledky na bezpečnost provozu. Jeřáb je vybaven vážením na horních kladnicích, takže by se mělo předcházet přetěžování jeřábu. Další pojistkou proti tomuto přestupku je přetěžovací pojistka. Výsledky analýz potvrdily, že rám kočky je schopen odolávat až dvojnásobným hodnotám zatížení ve výjimečných případech. Toto přetěžování je ovšem zakázáno a nemělo by k němu docházet nikdy. Výsledky ukazovaly napět'ové špičky v místech žeber. Tato místa jsou ve skutečnosti upravena zkosením rohů. Nejvyššího napětí bylo dosaženo, při pojezdu kočky na třech podvozcích. Napětí dokonce přesahovalo dovolenou mez. K tomuto zatížení však v reálném provozu nemůže nikdy dojít, jelikož výsledné posuvy nekorespondují s dovolenými nerovnostmi dráhy, po které kočka pojíždí. Bezpečnost se pohybuje v rozsahu od 1,8 do 4,2 při běžném provozu.

U kontroly únavové pevnosti lze z výsledků vyhodnotit jako rám jako vyhovující. Ani v jednom případě rozkmit napětí nepřekročil dovolenou mez. Byla dosažena bezpečnost 2 a vyšší. Kontrolovaná místa musela být volena mimo špičky napětí, aby nedocházelo k ovlivnění výsledku.



## ZÁVĚR

Cílem této závěrečné práce bylo vytvořit technickou zprávu, která se skládá z provedení kontroly pevnosti stávajícího stavu dle ČSN EN 13001 a kontroly únavové pevnosti. Ke kontrole mělo být použito prutového a skořepinového modelu.

Pevnostní výpočty byly provedeny v softwaru NX I-deas 6.1. Je to program, který pracuje na principu výpočtů pomocí metody konečných prvků. Byly vytvořeny dva modely – prutový a skořepinový. Na modely byly aplikovány kombinace zatížení dle příslušné jeřábové normy ČSN EN 13001. Náročnost tvorby a výpočtu modelů je zřejmá. V porovnání mezi prutovým a skořepinovým modelem je jasné, že náročnější jak při tvorbě tak i samotném výpočtu je model skořepinový. V praxi to znamená několika násobně vyšší finanční náklady. Ovšem na druhou stranu je přesnost dosažených výsledků větší a model je schopen realističtějších obrazových simulací. Výsledky se nelišily ani při kontrole únavové pevnosti, a proto lze potvrdit i skutečnost z praxe, že se častěji používá pro jednoduchost i menší časovou náročnost prutových modelů.

Cíle práce byly splněny. Byla provedena jak pevnostní kontrola, tak i kontrola únavové pevnosti. Obě analýzy byly vytvořeny pro dva druhy modelů. Výsledky ukazují, že rám jeřábové kočky ve všech zatíženích, která jsou v provozu reálná, vyhovuje.



## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] REMTA, F., KUPKA, L., DRAŽAN, F.: *Jeřáby, 2.*, preprac. a dopln. vyd., SNTL Praha, 1975
- [2] ZIMMERMANN, S. , ZIMMERMANN, B.: *Krane - Beschaffenheit, Ausbildung, Einsatz.* Verlag Dr. Ingo Resch GmbH 2003. ISBN 3-930039-31-1
- [3] ČSN EN 13001-1+A1 *Jeřáby – Návrh všeobecně – Část 1: Základní principy a požadavky*, duben 2009
- [4] ČSN EN 13001-2 *Jeřáby – Návrh všeobecně – Část 2: Účinky zatížení*, duben 2011
- [5] ČSN EN 13001-3-1 *Jeřáby – Návrh všeobecně – Část 3-1: Mezní stavy a prokázání způsobilosti ocelových konstrukcí*, prosinec 2013
- [6] ČSN EN 15011 *Jeřáby – Mostové a portálové jeřáby*, červenec 2011
- [7] ISO 4301-1 *Jeřáby a zdvihací zařízení. Klasifikace. Část 1: Všeobecně*, listopad 1992
- [8] ČEN ISO 4306-1 *Jeřáby – Slovník – Část 1: Všeobecně*, březen 2010
- [9] Firemní katalog: *Hydraulické nárazníky ho-ing OLEO. Hofmann, Herbert.* [cit. 28.5.2015]. Dostupné z: <http://www.ho-ing.de/PDF/catalogue.pdf>
- [10] Návod k softwaru: *NX Ideas 6.1* společnosti SIEMENS, 2009
- [11] PETRUŠKA, Jindřich. *MKP v inženýrských výpočtech.* [cit. 28.5.2015]. Dostupné z: <http://www.umt.fme.vutbr.cz/img/fckeditor/file/opory/RIV/MKP2011.pdf>
- [12] <http://www.kralovopolska.cz/>



## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$a_{nk}$	[ $\text{ms}^{-2}$ ]	zpomalení kočky při nárazu
$a_{nm}$	[ $\text{ms}^{-2}$ ]	zpomalení způsobené nárazem mostu
$b_h$	[mm]	šířka hlavy kolejnice
$d_i$	[mm]	vzdálenost i-tého páru kol od vodícího prostředku
$E_{kk}$	[J]	kinetická energie při nárazu kočky
$E_{kk1}$	[J]	energie pohlcená jedním nárazníkem
$E_{km}$	[J]	kinetická energie pohlcená jedním nárazníkem při nárazu mostu
$f$	[-]	součinitel tření odvalujícího se kola
$F_{2n}$	[N]	celková síla působící oba nárazníky kočky
$F_B$	[N]	síla nahrazující hmotnost břemene zdvihu
$F_{nm}$	[N]	nárazová síla při nárazu mostu jeřábu
$F_p$	[N]	přepočtená síla příčeni
$f_{Rd\sigma}$	[MPa]	Návrhová hodnota únosnosti normálová
$f_{Rd\tau}$	[MPa]	Návrhová hodnota únosnosti smyková
$f_u$	[MPa]	jmenovitá hodnota meze pevnosti
$F_{xij}$	[N]	síla působící na kola kočka kolmo na směr pojezdu
$f_y$	[MPa]	Jmenovitá hodnota meze kluzu
$f_{yk}$	[MPa]	hodnota meze kluzu materiálu
$F_{zij}$	[N]	síla působící na kola kočka ve směru pojezdu
$g$	[ $\text{ms}^{-2}$ ]	gravitační zrychlení
$h$	[m]	vzdálenost mezi okamžitým pólem otáčení a vodícím prostředkem
$k_m$	[-]	součinitel spektra zatížení
$l$	[m]	rozchod kol kočky
$l_d$	[m]	minimální vzdálenost kočky od kraje mostu
$l_m$	[m]	rozpětí mostu
$l_r$	[m]	délka větve lana
$m$	[kg]	hmotnost jeřábové kočky včetně břemene
$\max\sigma$	[MPa]	maximální hodnota návrhového napětí
$m_b$	[kg]	hmotnost břemene zdvihu
$m_H$	[kg]	hmotnost břemena zdvihu
$\min\sigma$	[MPa]	maximální hodnota návrhového napětí
$m_k$	[kg]	hmotnost jeřábové kočky



$m_m$	[kg]	hmotnost mostu
$M_M$	[Nm]	moment od elektromotoru pojezdu
$m_{m,red}$	[kg]	redukována hmotnost jeřábu
$M_p$	[Nm]	moment k pólu otáčení od sil přičení
$n$	[1]	počet kol na každé straně kočky
$n_i$	[1]	počet výskytů rozkmitů $i$ -tého napětí
$N_{ref}$	[1]	referenční počet cyklů
$N_t$	[1]	celkový počet výskytů rozkmitů napětí
$\emptyset_1$	[-]	součinitel zahrnující účinky při zdvihání a gravitační účinky
$\emptyset_2$	[-]	dynamický zdvihový součinitel
$\emptyset_{2,min}$	[-]	součinitel pro výpočet součinitele zdvihu $\emptyset_2$
$\emptyset_{2t}$	[-]	teoretický zdvihový součinitel
$\emptyset_4$	[-]	součinitel pro výpočet pojezdu po nerovném povrchu
$\emptyset_5$	[-]	součinitel pro výpočet zatížení způsobených zrychlením pohonů
$\emptyset_6$	[-]	součinitel pro výpočet zatížení při zkouškách
$\emptyset_7$	[-]	součinitel pro výpočet zatížení při nárazech kočky a mostu jeřábu
$\emptyset_p$	[-]	součinitel pro účinek postupného dosažení polohy
$p$	[-]	počet párů spřažených kol
$Q$	[kg]	hmotnost největšího zdvihaneho břemene
$Q_i$	[kg]	Hmotnost dílčího zdvihaneho břemene
$R_r$	[MPa]	třída pevnosti lana
$s$	[mm]	maximální stlačení nárazníku
$s_3$	[-]	parametr historie napětí
$S_g$	[mm]	vůle dráhy
$S_{g,min}$	[mm]	minimální hodnota vůle dráhy pro příčný pojezd kočky
$t$	[mm]	tloušťka plechu
$v$	[-]	relativní celkový počet výskytů rozkmitů napětí
$v_h$	[ms <sup>-1</sup> ]	rovnoměrná rychlost zdvihání
$v_{h,max}$	[ms <sup>-1</sup> ]	maximální ustálená rychlost zdvihu
$v_k$	[ms <sup>-1</sup> ]	maximální rychlost pojezdu kočky
$v_{kn}$	[ms <sup>-1</sup> ]	rychlost pojezdu kočky před nárazem
$v_m$	[ms <sup>-1</sup> ]	maximální rychlost pojezdu mostu
$v_{mn}$	[ms <sup>-1</sup> ]	rychlost pojezdu mostu před nárazem





$W$	[kJ]	energie, kterou utlumí nárazník
$W_b$	[mm]	vzdálenost mezi vodícími prostředky (rozvor kol)
$Z_a$	[-]	skutečný součinitel bezpečnosti lana
$\alpha$	[rad]	úhel přičení
$\alpha_g$	[rad]	část úhlu přičení od vůle ve vedení
$\alpha_t$	[rad]	část úhlu přičení od úchylek zákrytu kol na kolejnici
$\alpha_w$	[rad]	část úhlu přičení od opotřebení kola a nákolku kola
$\beta_2$	[-]	součinitel pro výpočet součinitele zdvihu $\sigma_2$
$\beta_3$	[-]	součinitel používaný pro jeřáby s magnetem
$\gamma_m$	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
$\gamma_m$	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu
$\gamma_{mf}$	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti
$\gamma_p$	[-]	dílčí součinitel bezpečnosti
$\gamma_{Rm}$	[-]	součinitele spolehlivosti prvků
$\gamma_{sm}$	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti pro válcovaný materiál
$\delta$	[-]	hodnota závisující na konstrukci jeřábu
$\Delta$	[MPa]	maximální rozkmit napětí
$\Delta m_H$	[kg]	uvolněná část břemena zdvihu
$\Delta \sigma_c$	[MPa]	charakteristická hodnota rozkmitu napětí
$\Delta \sigma_i$	[MPa]	rozkmit i-tého napětí
$\Delta \sigma_{Rd}$	[MPa]	dovolený rozkmit napětí
$\Delta \sigma_{Sd}$	[MPa]	vypočítaná největší návrhová hodnota rozkmitu napětí
$\mu, \mu'$	[mm]	poměrné části rozpětí
$v$	[-]	souč. pro výpočet sil půs. při přičení na kola kolmo na směr jízdy
$v_{ij}$	[-]	součinitel pro výpočet sil při přičení kolmo na směr pojezdu kočky
$\xi$	[-]	souč. pro výpočet sil půs. při přičení na kola ve směru jízdy
$\xi_{ij}$	[-]	součinitel pro výpočet sil při přičení ve směru pojezdu kočky

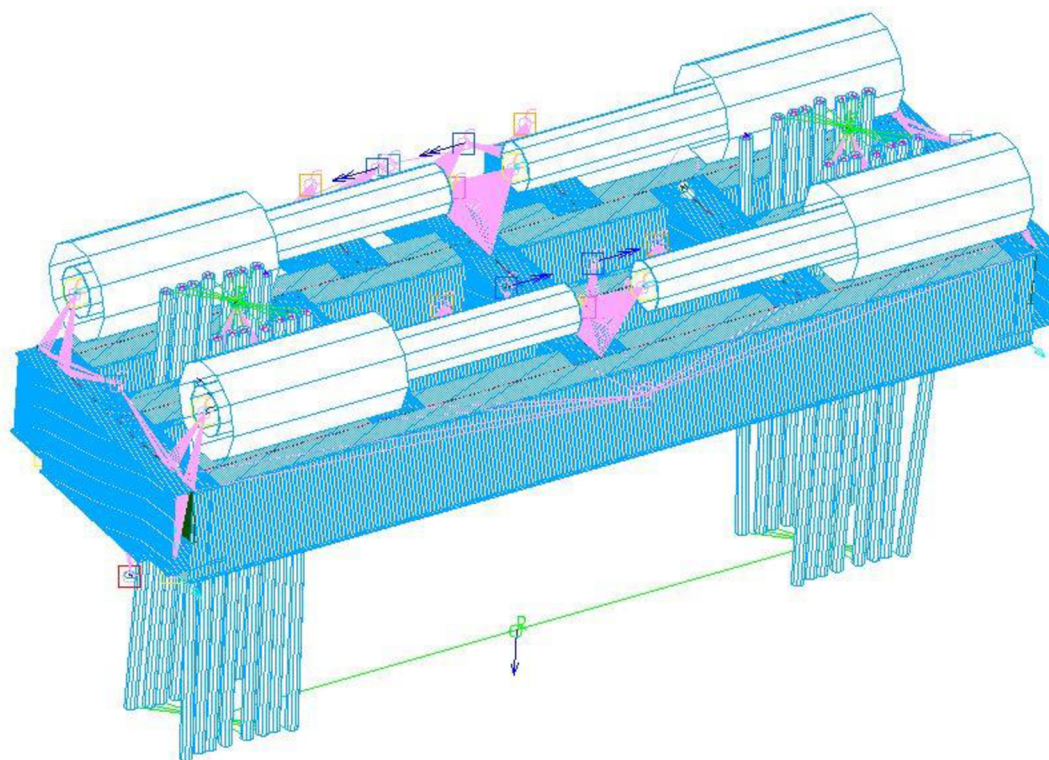


## SEZNAM PŘÍLOH

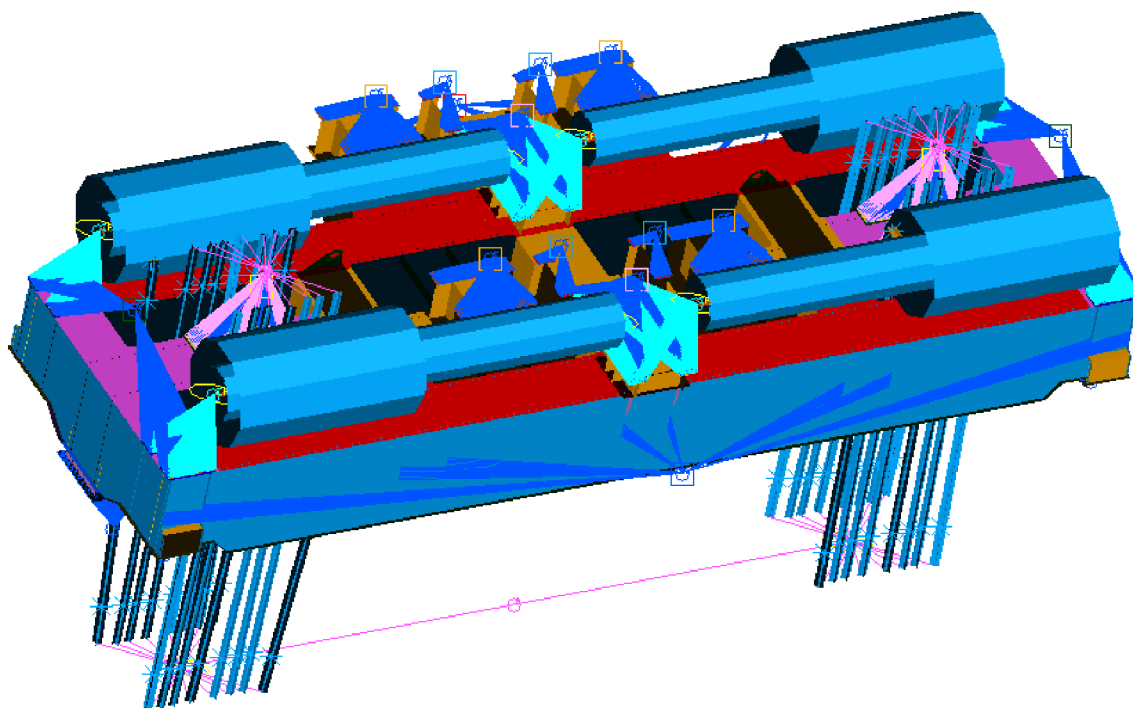
- Příloha 1      Znázornění náhrad vybavení kočky – prutový model, skořepinový model
- Příloha 2      Průřezy použité na prutovém modelu
- Příloha 3      Charakteristika nárazníku kočky
- Příloha 4      Charakteristika nárazníku mostu
- Příloha 5      Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L3
- Příloha 6      Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L5
- Příloha 7      Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L10
- Příloha 8      Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L18
- Příloha 9      Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L21
- Příloha 10     Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L31
- Příloha 11     Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L35



## PŘÍLOHA 1 - Znázornění náhrad vybavení kočky – prutový model

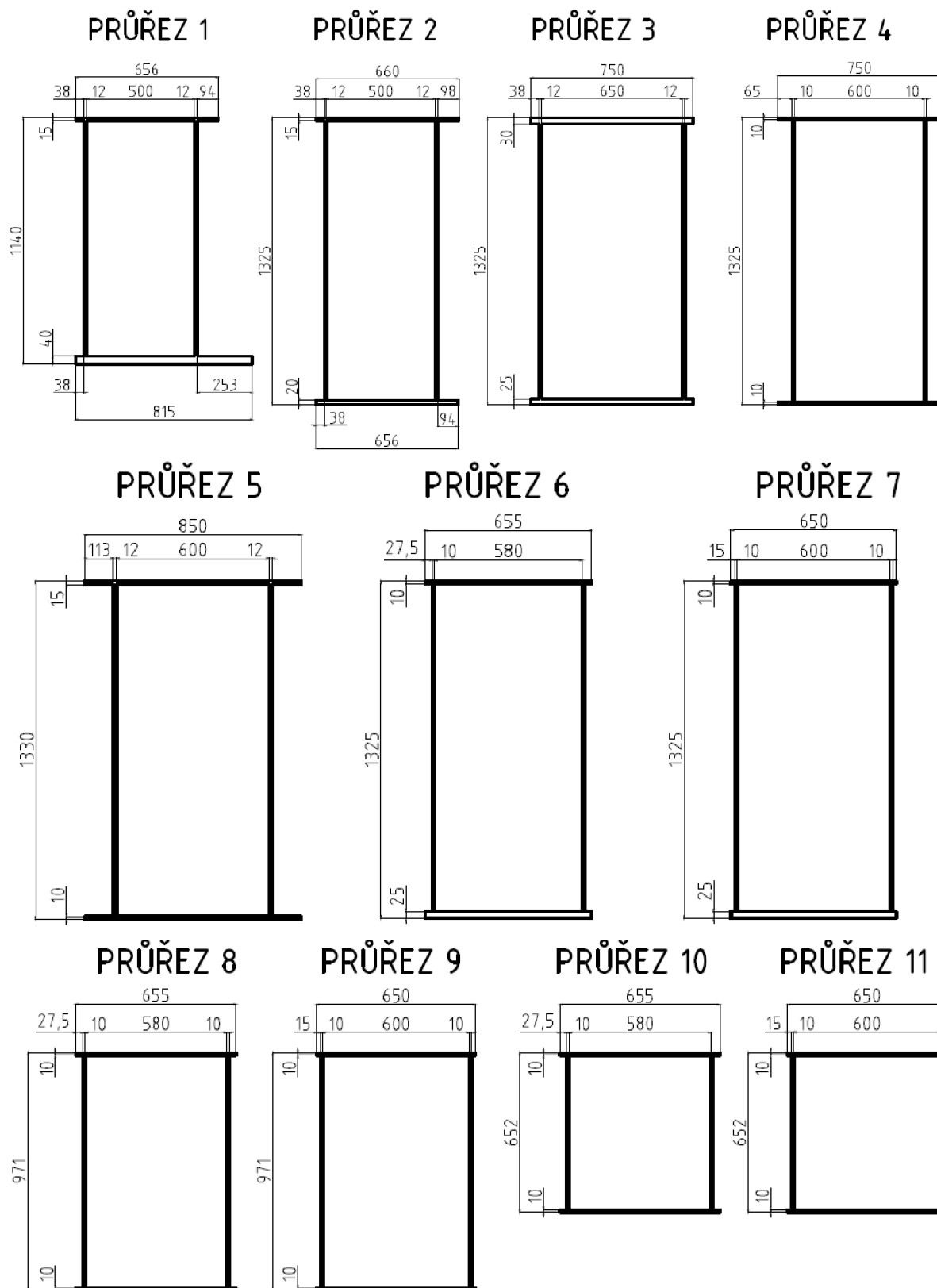


## - Znázornění náhrad vybavení kočky – skořepinový model






PŘÍLOHA 2 - Průřezy použité na prutovém modelu





PŘÍLOHA 3 - Charakteristika nárazníku kočky

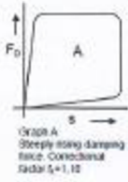


**GANTRY Rail s.r.o.**

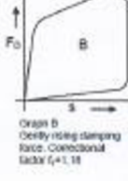
Bavorská 856, CZ - 155 41 Praha 5

Tel. : ++ 420/ 224 453 530  
 Fax : ++ 420/ 251 610 273  
 E-Mail : info@gantryrail.com  
 www.gantryrail.com

### TYPE SHEET S63



Graph A  
Steeply rising damping force. Correctional factor  $\psi = 1,12$



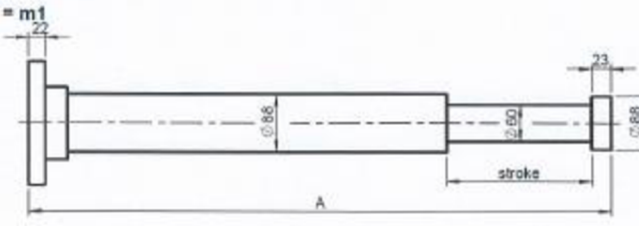
Graph B  
Gently rising damping force. Correctional factor  $\psi = 1,14$

**Performance data:**

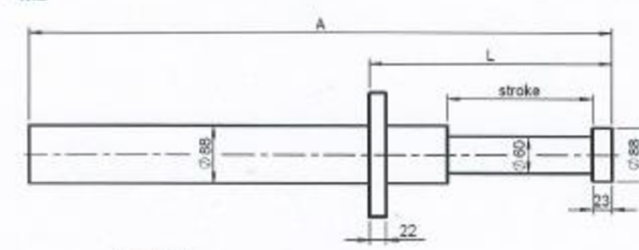
Stroke mm	Energy/Stroke		Damping Force		Inward Force		Weight kg	**Max. Angular Deviation of Impact degree	Dimensions:	
	SB kJ/m	SK kJ/m	SB kN	SK kN	Extended kN	Retracted kN			SB/SK A	SK L
100	16	16	180	180			18	2,9	480	270
200	33	33	180	180			22	1,5	760	370
300	49	49	180	180			28	1,0	1040	470
400	65	65	180	180			33	0,8	1320	570
500	81	81	180	180			39	0,8	1600	670
600	96	96	180	180	2,6	8,84	45	0,8	1880	770
700	107	107	180	180			51	0,8	2160	870
800	118	118	180	180			57	0,8	2440	970
900	127	127	180	180			63	0,8	2720	1070
1000	135	135	180	180			69	0,8	3000	1170

Intermediate strokes are available on request  
 \* For strokes > 400 mm: the damping force is initially lower than the maximum value  
 Explanation at page 09  
 \*\* Relating to the max. allowable damping force. Values for lower forces at page 09

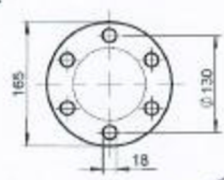
**Type SB = m1**



**Type SK = m2**




**Flange:**



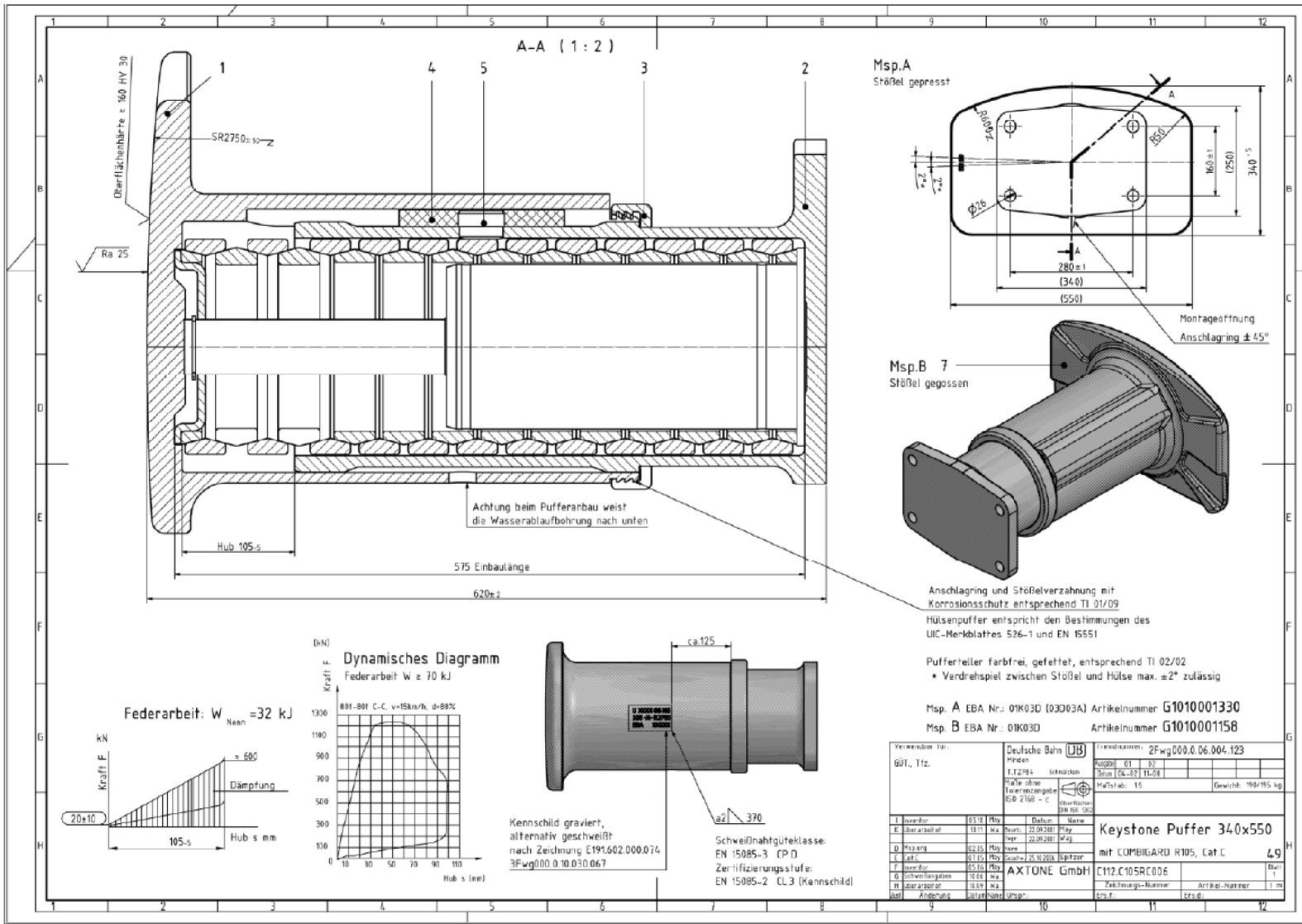
Ort/Datum: Prag, 16/ September 2014  
 Place/Date: Prag, September 16, 2014

Unterschrift / Signature: \_\_\_\_\_

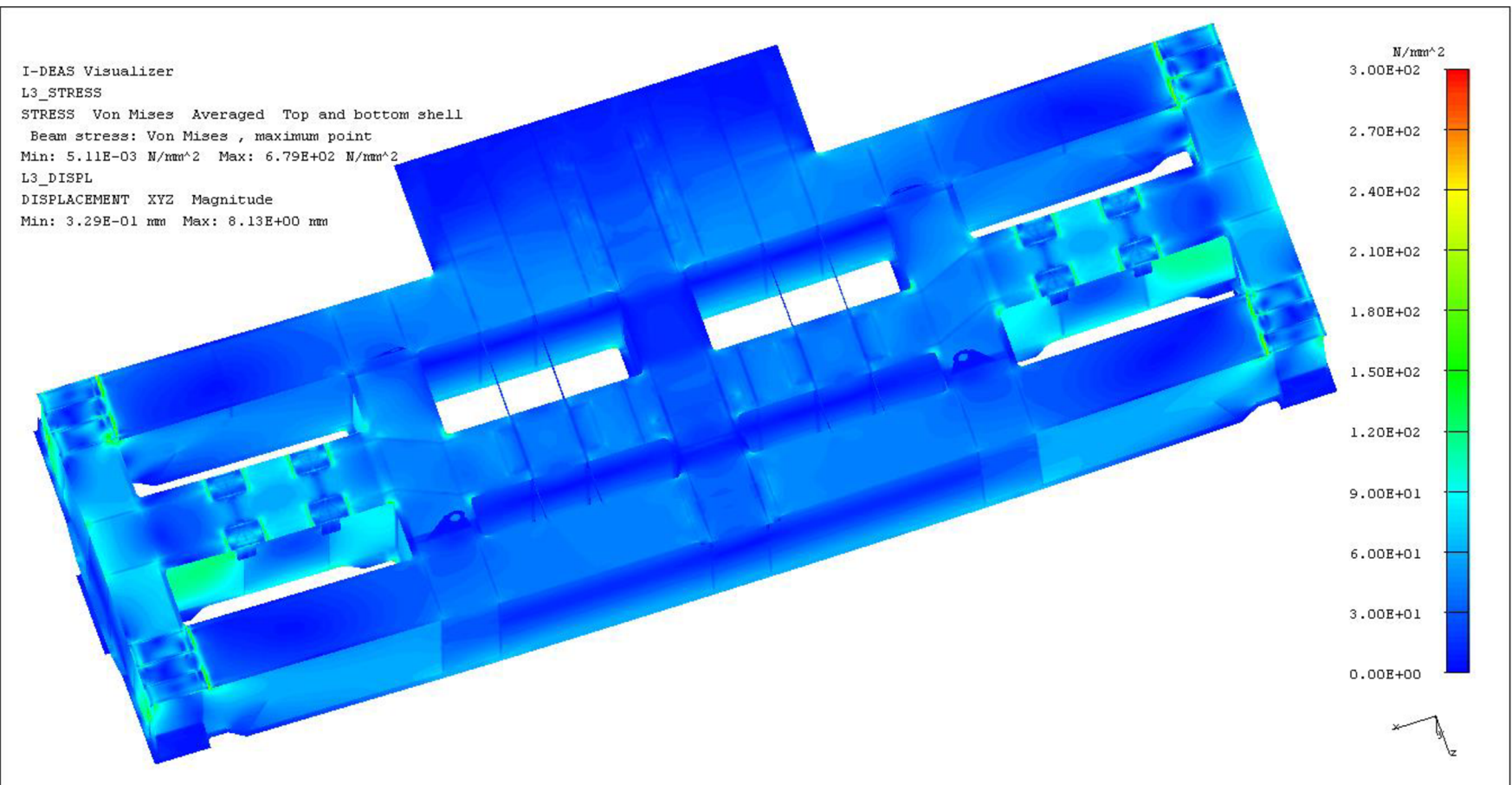


Společnost je zapsána v obchodním rejstříku vedeném Městským soudem v Praze, oddíl C, vložka 182135  
 IČO: 24138410 DIČ- VAT: CZ24138410

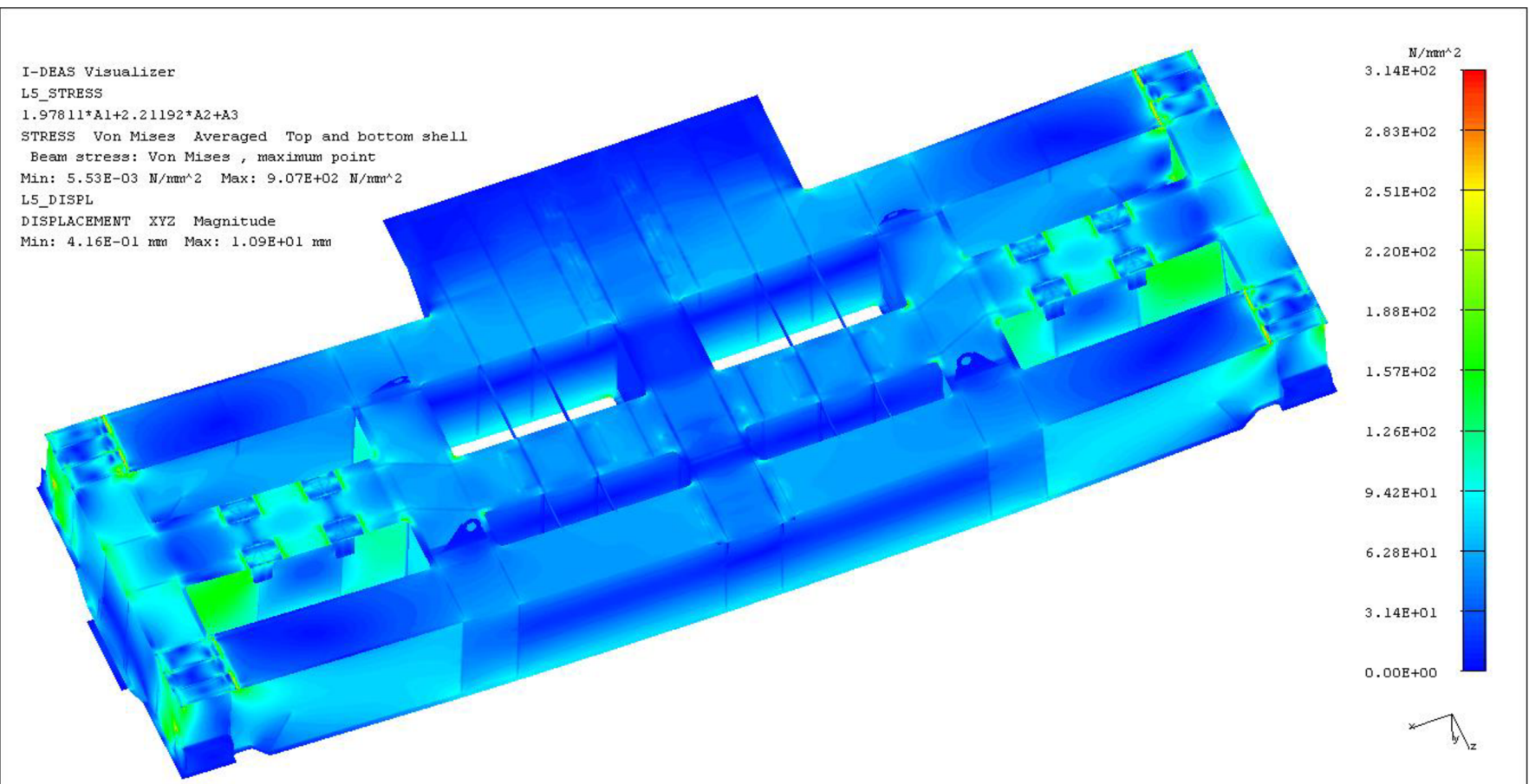
PRÍLOHA 4 - Charakteristika nárazníku mostu



PŘÍLOHA 5 - Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L3

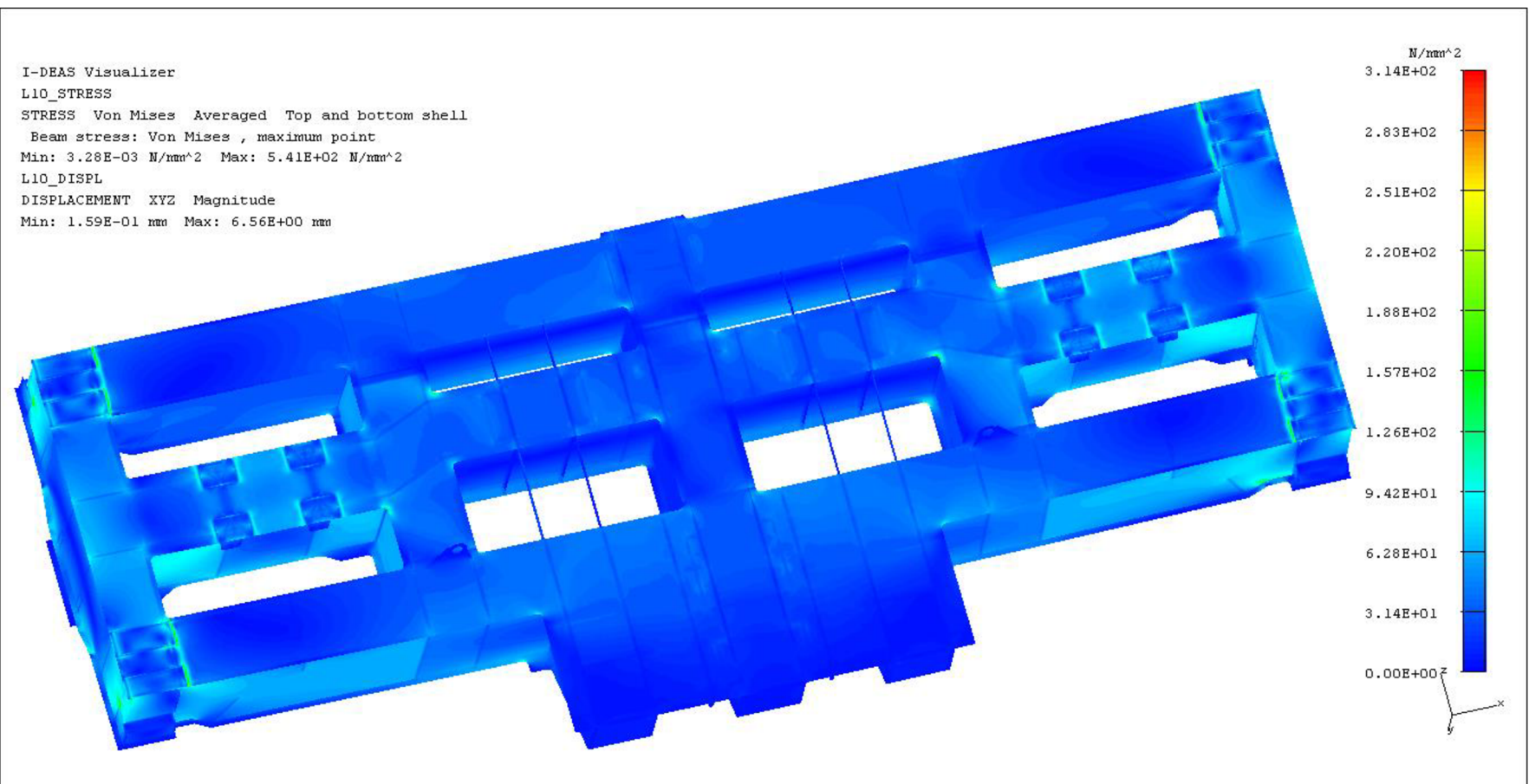


PŘÍLOHA 6 - Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L5

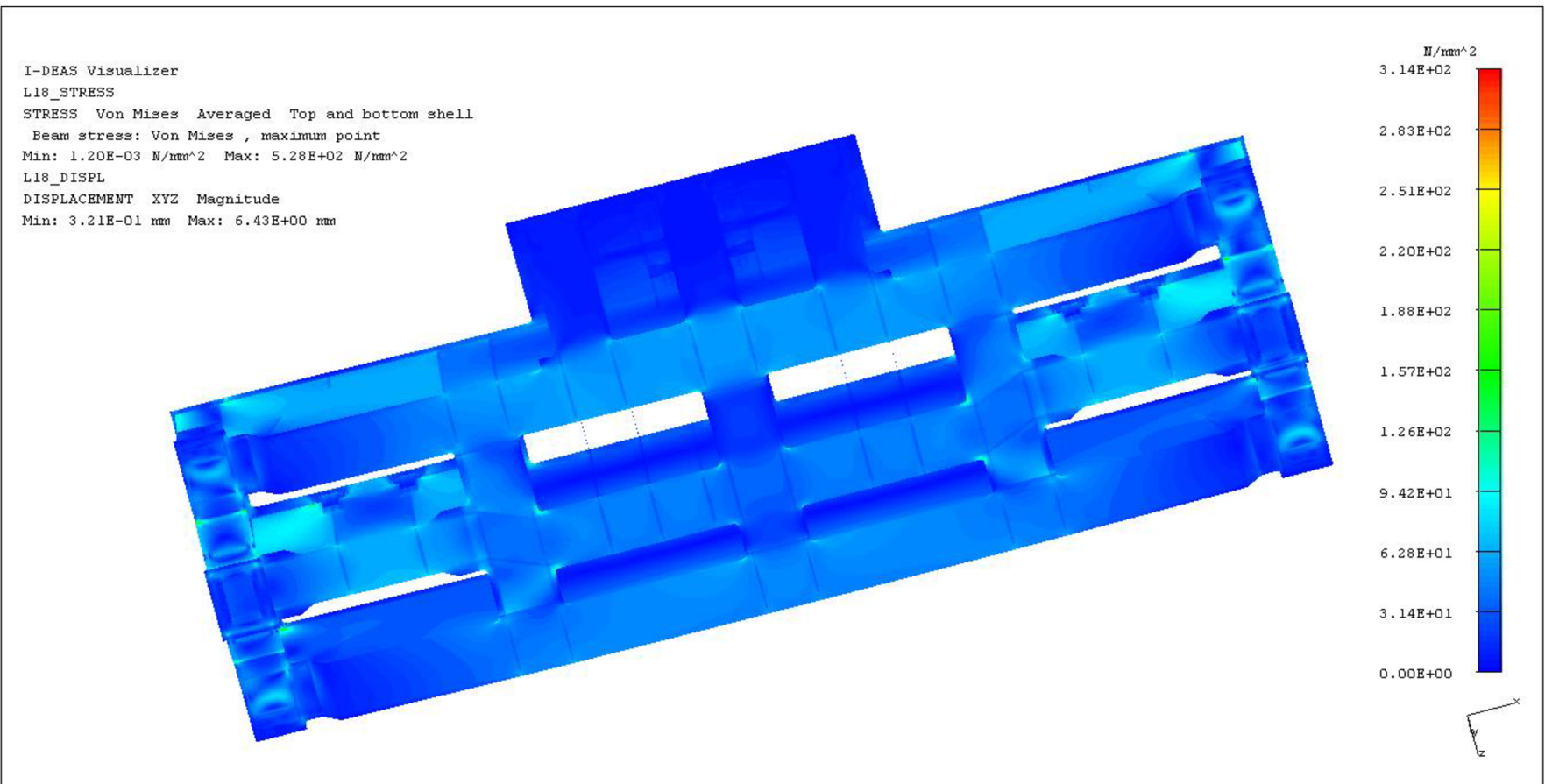




PŘÍLOHA 7 - Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L10

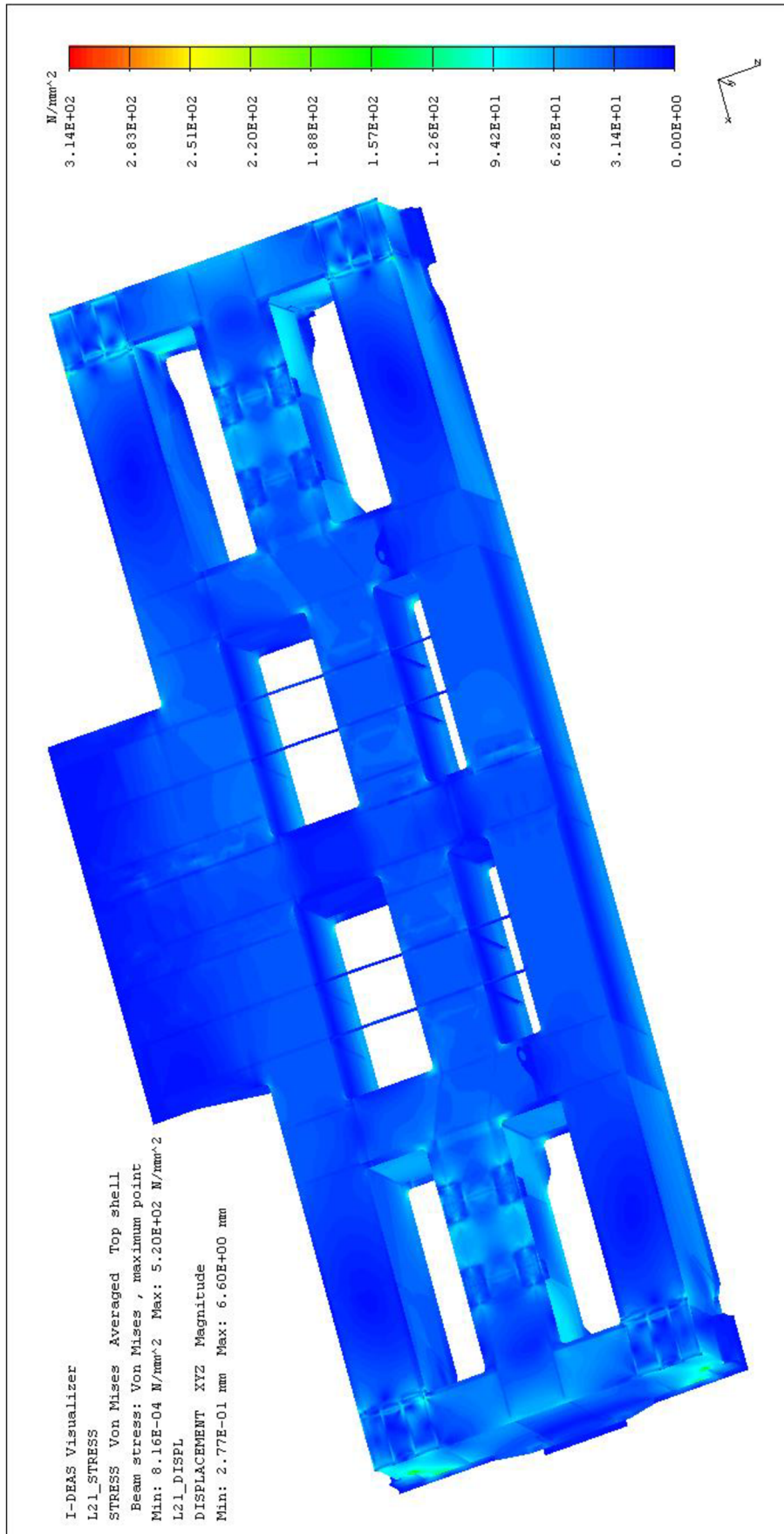


PŘÍLOHA 8 - Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L18

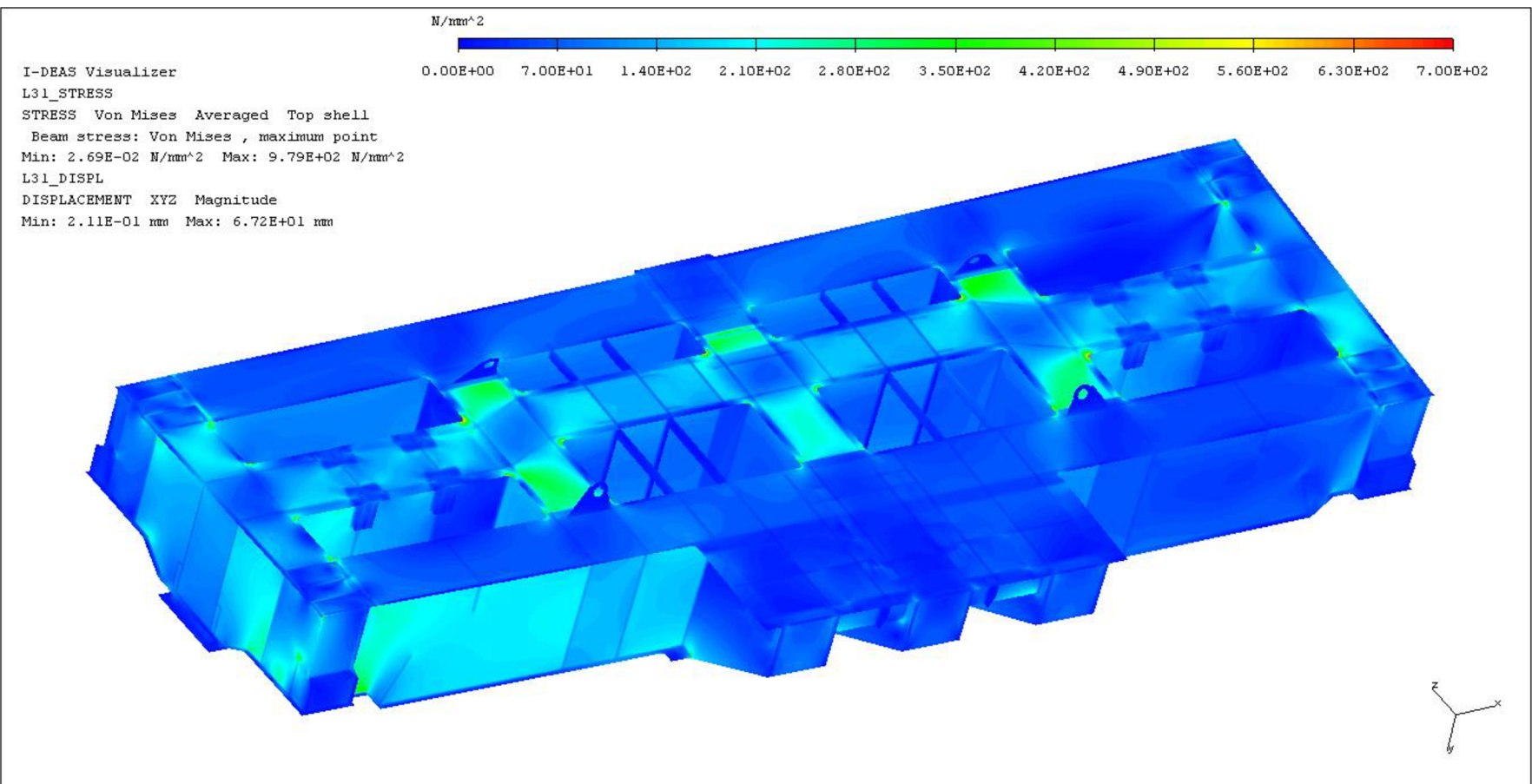




PŘÍLOHA 9 - Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L21



PŘÍLOHA 10 - Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L3 1



PŘÍLOHA 11 - Zobrazení celého rámu při kombinaci zatížení L35

