

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Konstruování strojů a technických zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh malého mostového jeřábu s elektrickým pohonem

Autor: **Jan Hejna**
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Kořínek**

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jan HEJNA**
Osobní číslo: **S19B0712P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Konstruování strojů a technických zařízení**
Téma práce: **Návrh malého mostového jeřábu s elektrickým pohonem**
Zadávající katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Vytvořte návrh jednoduchého mostového jeřábu pro použití v malých dílnách do cca 100m². Rozchod pojezdových kolejí je 5000mm, požadovaná nosnost jeřábu 2,5t. Pohon mostu bude elektrický, pohon kočky může být ruční, případně elektrický, pohon háku (zdvihu) elektrický. Napájení standardním napětím 400V/50Hz. Maximální zdvih háku 6000mm. Vytvořte konstrukční návrh dle výše uvedených parametrů.

Návrh bude obsahovat v úvodu rozbor legislativy zdvihacích zařízení, do kterých uvedený stroj spadá, dále jednoduchý konstrukční návrh s výstupem v podobě výkresové dokumentace (sestavný celkový výkres a výkres vybraného detailu nebo sestavy) a výběr vhodných nakupovaných komponent (rolny, kola, elektrický naviják atd.). Součástí práce by také měla být jednoduchá MKP analýza zvoleného technického řešení s ověřením klíčového prvku – mostu.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. *Rešerše soudobé používané techniky*
2. *Specifikace požadavků, návrh minimálně dvou variant řešení*
3. *Návrh vybraného konstrukčního řešení, výběr nakupovaných komponent*
4. *Vypracování základní konstrukční dokumentace s ověřením vhodnosti návrhu klíčového prvku pomocí MKP analýzy*
5. *Zhodnocení práce, závěr*

Rozsah bakalářské práce: **30-40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1*. Brno: Computer Press, 1999.
[2] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 2*. Brno: Computer Press, 2000.
Podkladový materiál, výkresy, prospekty, katalogy apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Kořínek**
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Ladislav Tříška, Ph.D.**
Strkan s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **16. října 2020**
Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou / diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou / diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
Hejna Jan

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Hejna	Jméno Jan		
STUDIJNÍ OBOR	B0715A270013 „Strojní inženýrství“			
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Kořínek	Jméno Jiří		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Návrh malého mostového jeřábu s elektrickým pohonem			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	73	TEXTOVÁ ČÁST	66	GRAFICKÁ ČÁST	7
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje konstrukční návrh mostového jeřábu ve třech variantách řešení, výpočet kriticky namáhaných částí a kontrolu součástí pomocí metody konečných prvků (MKP / FEM).
KLÍČOVÁ SLOVA	Mostový jeřáb, zdvihací technika, MKP, CAD, design, konstrukce, kladkostroj, výkresová dokumentace

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Hejna	Name Jan	
FIELD OF STUDY	B0715A270013 „Mechanical Engineering“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Kořínek	Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of a small bridge crane with electric drive		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKS	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	73	TEXT PART	66	GRAPHICAL PART	7
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This bachelor thesis contains construction design of small bridge crane in three variants of solutions, calculation of critically stressed parts and inspection of components by using finite element method (FEM).
KEY WORDS	Bridge crane, lifting equipment, FEM, CAD, design, construction, hoist, drawing documentation

Obsah

1	Seznam obrázků	8
2	Seznam tabulek	9
3	Přehled použitých značek a symbolů	10
4	Úvod.....	12
4.1	Mostový jeřáb	12
4.2	Historie mostových jeřábů.....	12
4.3	Rozbor legislativy zdvihacích zařízení.....	13
4.3.1	Základní pojmy	13
4.3.2	Klasifikace jeřábu	13
4.3.3	Poskytované informace.....	13
4.3.4	Všeobecný návrh jeřábů.....	13
5	Rešerše soudobé používané techniky.....	14
5.1	Jeřábové dráhy	14
5.2	Typy jeřábů.....	15
5.2.1	Podvěsné jeřáby	15
5.2.2	Portálové jeřáby	15
5.2.3	Mostové jeřáby [1].....	16
5.2.4	Jeřáby do provozů s nebezpečím výbuchu	22
5.3	Speciální vybavení jeřábů.....	22
5.3.1	Jeřáby s drapákem.....	22
5.3.2	Jeřáby s vážením	22
5.3.3	Ostatní příslušenství.....	22
5.4	Jeřábové kočky	23
5.5	Kladkostroje.....	23
5.6	Vázací prvky a tažné elementy.....	24
5.6.1	Řetězy	24
5.6.2	Lana	24
5.6.3	Textilní popruhy a smyčky	25
5.7	Chytré funkce jeřábů firmy Konecranes.....	26
5.8	Životní cyklus zakázky na mostové jeřáby.....	27
6	Rozpracování problému	28
6.1	Klasifikace jeřábu	28
6.2	Návrh alternativ řešení technologického systému	28
6.2.1	Varianta A.....	29
6.2.2	Varianta B	30
6.2.3	Varianta C	31

6.3	Hodnocení variant.....	32
6.3.1	SWOT hodnocení	32
6.3.2	Hodnocení rizikových, silných a slabých stránek variant.....	34
6.4	Návrh hrubé stavební struktury	34
6.4.1	Schématický návrh řešení	34
6.4.2	Schématický návrh příčnicku	35
6.4.3	Návrh pohonu zdvihadla.....	37
6.4.4	Model hrubé stavební struktury	37
6.5	Kontrola kriticky namáhaných komponent	38
6.5.1	Pohon kladkostroje	38
6.5.2	Nosník (most)	42
6.5.3	Příčník.....	46
6.5.4	Hřídel příčného pojezdu.....	47
6.5.5	Valivá ložiska příčného pojezdu.....	50
6.5.6	Hřídel pohonu	51
6.5.7	Kluzná ložiska pohonu.....	51
6.5.8	Hřídel kočky	52
6.5.9	Valivá ložiska kočky - táhlo	53
6.5.10	Valivá ložiska kočky - kola	53
6.6	Kontrola pomoci MKP	54
6.6.1	Příprava modelu.....	54
6.6.2	Výsledky pevnostní analýzy	55
6.7	Definitivní stavební struktura	59
6.7.1	Seznam nakupovaných komponent	62
6.7.2	Výkresová dokumentace.....	63
6.7.3	Průjezdny profil jeřábu	63
7	Závěr	64
8	Seznam příloh	65
9	Reference	66
	PŘÍLOHA č. 1	I
	PŘÍLOHA č. 2	II
	PŘÍLOHA č. 3	III
	PŘÍLOHA č. 4	IV
	PŘÍLOHA č. 5	V
	PŘÍLOHA č. 6	VI
	PŘÍLOHA č. 7	VII

1 Seznam obrázků

Číslo obrázku	Popisek	Strana
Reference		
1	Podvěsný jeřáb https://www.iteco.cz/files/products_images/big/r/RS815_SCREENHighRes.jpg	15
2	Portálový jeřáb https://d3fmmw41wrx8lm.cloudfront.net/wp-content/uploads/2019/04/double-girder-gantry-crane.png.webp	15
3	Mostový jeřáb jednonosníkový http://dearborncrane.com/blog/	18
4	Mostový jeřáb dvounosníkový https://www.benjosielski.com/choosing-simple-overhead-crane-system-easy-use/	19
5	Svařovaný nosník [5]	20
6	Tarca® Track [5]	20
7	Skříňový nosník https://adoc.pub/vysoke-ueni-technicke-v-brn6114a226da9e6a1585c6ec51d56bc85816722.html	20
8	Nosník Demag V navržený pomocí JBE (Bionic Engineering) https://konstrukce.cz/images/MjIwOHgweDA=/demag01_rgb.jpg	21
9	Polypový drapák https://www.hyundai-stavebnistroje.cz/adaptery/manipulacni/polypovy-drapak-vtn/	22
10	Vakuové přísavky https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ8uopb-Pusht-dKbcbAgb1Q0WmR8hzwfFKzg&usqp=CAU	22
11	Lanový kladkostroj https://www.gigasro.cz/files/thumbs/3d-modely-kladkostroju-ghm-se-zkracenou-stavebni-vyskou/ghm-6302-20-4-1-6m-z.3074311390.jpg	23
12	Řetězový kladkostroj https://cdn.myshoptet.com/usr/www.parkoff.cz/user/shop/big/3731_3f87d5e9-f612-11e3-a3a4-00155d086f02-608a259a-3fd9-11e9-85fe-0cc47a4f15fe.jpg?5fdcbecb	23
13	Řetězový úvazek http://www.carlstahl-zvedacitechnika.cz/images/produkte/prislusenstvi/prislusenstvi-9.jpg	24
14	Plochý textilní pás http://www.carlstahl-zvedacitechnika.cz/images/produkte/prislusenstvi/prislusenstvi-8.jpg	25
15	Kombinovaný úvazek https://www.prochazka-mp.cz/wp-content/uploads/2019/07/RSG-4.jpg	25
16	Schéma varianty A	29
17	Schéma varianty B	30
18	Schéma varianty C	31
19	3D pohled na stavbu příčnicku	35
20	Řez návrhu uložení kol příčnicku	36
21	ROBA®-takt clutch brake https://vecgroup.com/assets/pdf/Mayr%20ROBA-takt.pdf	37
22	Model hrubé stavební struktury jeřábu	37
23	Návrh pohonu	38
24	Návrh pohonu s volnou kladkou	38
25	Volba řetězu od firmy pewag [13]	39
26	Volba kapsového kola od firmy pewag [14]	39
27	Elektromotor s plochou převodovkou https://www.sew-eurodrive.cz/os/catalog/pics/ProductPreviews/Drives/F_DR.png	41
28	Model nosníku (mostu)	42
29	Schéma modelu	42
30	Charakteristické posouvající síly a působící momenty spolu s fiktivním nosníkem	43
31	Vlastnosti průřezu mostu dle softwaru Autodesk Inventor Professional 2018	44
32	Model příčnicku	46

Číslo obrázku	Popisek	Strana
Reference		
33	Model hřídele	47
34	Schéma úlohy	47
35	Uvolněný příčnick	48
36	Uvolněné hnací kolo	48
37	Uvolněné kolo	48
38	Servomotor s planetovou převodovkou	49
https://www.sew-eurodrive.cz/os/catalog/pics/ProductPreviews/Drives/PSF_CMP.png		
39	Model hřídele pohonu	51
40	Model kluzného ložiska	51
41	Model hřídele kočky	52
42	Graf napětí v ohybu	52
43	Graf smykového napětí	52
44	Příprava modelu	54
45	Zasíťování modelu	54
46	Průhyb modelu ve směru osy y	55
47	Posunutí modelu ve směru osy x	55
48	Posunutí modelu ve směru osy z	56
49	První hlavní napětí	56
50	Třetí hlavní napětí	57
51	Napětí Von Mises	58
52	Definitivní stavební struktura jeřábu	59
53	Definitivní stavební struktura kočky a háku	60
54	Definitivní stavební struktura pohonu	61
55	Průjezdny profil jeřábu	63

2 Seznam tabulek

Číslo tabulky	Popisek	Strana
1	Klasifikace jeřábu	28
2	SWOT hodnocení navržených alternativ	32
3	Diagram hodnocení	33
4	Hodnocení variant	34
5	Seznam nakupovaných komponent	62

3 Přehled použitých značek a symbolů

Název veličiny	Značka veličiny	Jednotka
posouvající síla působící na most	T	N
akční síla působící od kočky	F	
síla v řetězu od břemene	G	
síla působící v axiálním směru	F_a	
maximální síla působící v axiálním směru	F_a^{max}	
síla působící v radiálním směru	F_r	
výsledná síla	F_v	
maximální síla působící na hřídel příčného pojezdu	$F_{max}^{přp}$	
maximální síla působící na hřídel pohonu	F_{poh}	
statické ekvivalentní zatížení	F_e	
maximální hodnoty reakcí v podporách: D; A; E	$R_{D;A;E}^{max}$	
reakce od podpory: A; B; C; D	$R_{A;B;C;D}$	
statická únosnost ložiska	C	
tlak působící v radiálním / axiálním směru	$p_{r;a}$	
tlak působící na hřídel příčného pojezdu	$p_{přp}$	
mez kluzu materiálu	R_E	
modul pružnosti v tahu ocele	E^o	
napětí v krutu hřídele pohonu	τ_k^{poh}	
napětí v krutu hřídele příčného pojezdu	$\tau_k^{přp}$	
napětí ve stříhu u hřídele příčného pojezdu	$\tau_s^{přp}$	
napětí ve stříhu u hřídele pohonu	τ_s^{poh}	
redukované napětí hřídele příčného pojezdu	$\sigma_{red}^{přp}$	
redukované napětí hřídele pohonu	σ_{red}^{poh}	
napětí v ohybu	σ_o	
dovolené napětí v ohybu	σ_{DO}	
napětí v ohybu působící na hřídel příčného pojezdu	$\sigma_o^{přp}$	
napětí v ohybu působící na hřídel pohonu	σ_o^{poh}	
roztečná kružnice ořechu	D_t	$m, mm, \mu m, km$
vnější průměr hřídele příčného pojezdu	$D_{přp}$	
vnitřní průměr hřídele příčného pojezdu	$d_{přp}$	
průměr hřídele pohonu	$d_{hřid}$	
funkční externí průměr kluzného přírubového ložiska	D_{ex}	
poloměr kola	r, r_{kola}	
poloměr roztečné kružnice ořechu	r_o	
délka mostu	L	
rozvor příčnicku	l	
efektivní délka ložiska	L_{ef}	
maximální průhyb nosníku	y	
dovolený průhyb nosníku	y_{DOV}	
poloha nositelky fiktivní síly	x_{U1}	
vzdálenost od ložiska k působící síle	o, w	
nejvzdálenější vlákno průřezu	e	

Název veličiny	Značka veličiny	Jednotka
hmotnost břemene	m_b	kg
osový (kvadratický) moment průřezu mostu	I_x^{most}	mm^4
modul průřezu v ohybu	W_O	mm^3
modul průřezu v ohybu navrženého mostu	W_O^{most}	
modul průřezu v ohybu navrženého příčnicku	$W_O^{příčnik}$	
modul průřezu v ohybu hřídele příčného pojezdu	$W_o^{přp}$	
modul průřezu v ohybu hřídele pohonu	W_o^{poh}	
modul průřezu v krutu hřídele pohonu	W_k^{poh}	
modul průřezu v krutu hřídele příčného pojezdu	$W_k^{přp}$	
obsah průřezu hřídele příčného pojezdu	$S_{přp}$	mm^2, m^2
obsah průřezu hřídele pohonu	S_{poh}	
moment setrvačnosti kol	$I_{3,4}$	$kg * m^2$
točivý moment od břemene	M_b	$N * m$ $N * mm$
točivý moment od břemene pro řešení s volnou kladkou	M_b^{kl}	
působící ohybový moment na most	M	
maximální působící ohybový moment	M_{Omax}	
maximální ohybový moment působící na příčnick	$M_{Omax}^{příčnik}$	
ohybový moment působící na hřídel příčného pojezdu	$M_o^{přp}$	
ohybový moment působící na hřídel pohonu	M_o^{poh}	
potřebný hnací moment příčného pojezdu	M_h	
síla na fiktivním nosníku	$U_{1;2}$	$N * m^2$
reakce fiktivního nosníku	$U_{A;B}$	
ohybový moment působící v polovině fiktivního nosníku	M_y^{half}	$N * m^3$
spojité zatížení	q	N/m
minimální potřebný výkon	P_{min}	W, kW
minimální potřebný výkon motoru příčného pojezdu	$P_{min}^{přp}$	
rychlost příčného pojezdu	$v_{přp}$	$\frac{m}{s}; \frac{m}{min}$
rychlost zdvihu	v_h	$\frac{ot}{min}; \frac{ot}{s}$
otáčky ořechu	n_o	
otáčky hřídele příčného pojezdu	$n_{přp}$	
tíhové zrychlení	g	$m * s^{-2}$
zrychlení	a	
úhlová rychlost ořechu	ω_o	$rad * s^{-1}$
úhlové zrychlení kola	α	$rad * s^{-2}$
bezpečnost mostu	k_m	1
dodatečná bezpečnost profilu	k_{profil}	
bezpečnost hřídele příčného pojezdu	$k_{přp}$	
bezpečnost hřídele pohonu	k_{poh}	
statická bezpečnost ložiska	s	
součinitel poměru axiální a radiální síly	e	
základní trvanlivost v hodinách	L_h	

4 Úvod

4.1 Mostový jeřáb

Mostové jeřáby se vyrábějí v mnoha tvarech a velikostech. Pro upřesnění můžeme říct, že se mostový jeřáb skládá z dvou souběžně jdoucích jeřábových drah, které podepírají horizontálně uložený nosník, často nazývaný most, na kterém je samotný kladkostroj, nebo jeho pojezd. Jeřábové dráhy mohou být přichyceny ke zdem nebo sloupům budovy v určité požadované výšce, nebo mohou být podepírány řadou sloupů – jinými slovy volně stojící portálovou ocelovou konstrukcí.

Jeřábový most většinou disponuje podélným posuvem. Po délce jeřábové dráhy pak může být paralelně umístěn více než jeden most, je-li to potřeba.

Mostové jeřáby, hlavně ty podepírané ocelovou konstrukcí, se mohou plést s jeřáby portálovými, kde podpurná konstrukce jeřábu podélně pojíždí společně s mostem.

4.2 Historie mostových jeřábů

Téměř každý ve svém životě již viděl mostový jeřáb, ať už v televizi nebo osobně, protože tyto jeřáby jsou velice hojně používány v celé řadě průmyslových odvětví, kterými může být například automotive nebo kovovýroba. Značné užití naleznou také v přístavech nebo nádražích při nakládání a vykládání lodí a vlaků. Zajímavým faktem je ale to, že jsou tu s námi mostové jeřáby už více než 175 let.

První parou poháněné mostové jeřáby vyvinuty v roce 1830 německou společností, konkrétně panem Ludwigem Stuckenholzem, byli sériově vyráběny již v roce 1840. První elektrický mostový jeřáb se neobjevil až do roku 1876, tedy přibližně do středu průmyslové revoluce v Anglii. Elektrickým motorem inovovaný mostový jeřáb byl výmyslem pana Sampsona Moora, Liverpoolského inženýra, pro továrnu, jenž vyráběla zbraně královské armádě v Londýně. První elektricky poháněný jeřáb byl primárně užíván k zvedání munice a výbušnin. Krátce poté se použití elektrických mostových jeřábů velice rozšířilo a lze říci, že je užíváno dodnes – především při produkci ocele.

Další inovace mostových jeřábů urychlilo jejich rozsáhlé použití napříč celým světem v řadě průmyslových odvětví, kde se objevili invence jako je třeba vysokokapacitní naviják, hromadně vyráběné elektrické kladkostroje v roce 1910 nebo elektronické kontrolní systémy

Přestože zůstávají základní principy mostového jeřábů pořád stejné, přicházejí stále nová vylepšení a inovace – proto je důležité jeřáby pravidelně kontrolovat pro zajištění správného fungování předtím, než nastane nějaký problém, který by mohl způsobit ohrožení zdraví nebo majetku na pracovišti. Tuto kontrolu provádí oprávněné kvalifikované osoby. [6]

4.3 Rozbor legislativy zdvihacích zařízení

4.3.1 Základní pojmy

V této práci byli vypsány základní pojmy z názvosloví jeřábů. Norma ČSN ISO 4306-1 obsahuje mnohem více pojmů, které by přesahovali obsah této práce.

- 1) **Jeřáb** je zdvihací zařízení, které přemísťuje břemeno pomocí pracovních pohybů vykonávaných ve svislém a vodorovném směru ve vymezeném prostoru.
- 2) **Kočka** je pojezdové zdvihadlo, u něhož se břemeno zvedá pod úrovní jeho jízdni dráhy.
- 3) **Jmenovitá nosnost jeřábu** je dána hmotností dovoleného břemena v tunách nebo kilogramech. Nosnost jeřábu musí být viditelně označena.
- 4) **Rozpětí jeřábu** je vodorovná vzdálenost středních rovin pojezdových kol.
- 5) **Rozchod** je vodorovná vzdálenost středních rovin jeřábových kolejnic.
- 6) **Rozvor jeřábu** je osová vzdálenost pojezdových kol ve směru jeřábové dráhy.
- 7) **Dojezdová míra** je vzdálenost osy háku od čela vlastního nárazníku na mostě / portálu.
- 8) **Průjezdový profil** je dán jeho obrysem a vřely předepsanými normou ČSN 27 0140
- 9) **Výška zdvihu** je svislá vzdálenost nejnížší a nejvyšší pracovní polohou háku. Rychlost zdvihací a pojezdové se udává v m/min při ustáleném běhu.

4.3.2 Klasifikace jeřábu

Dle normy ČSN ISO 4301 má být stanovena klasifikace jeřábu v závislosti na počtu operačních cyklů, které se mají provést během očekávané životnosti zařízení a jeho mechanismů a na součiniteli spektra zatížení, který představuje jmenovitý stav zatížení.

4.3.3 Poskytované informace

Další důležitou normou pro výrobce, prodejce a kupujícího je norma ČSN ISO 9374, jenž uvádí informace, které musí být uvedené kupujícím v poptávce nebo objednávce mostového nebo portálového mostového jeřábu a následně výrobcem v nabídce nebo dodávce mostového nebo portálového mostového jeřábu. Kupující musí poskytnout informace uvedené v příloze A dané normy, aby umožnil výrobcí jeřábu nabídnout nebo dodat nejvhodnější mostový nebo portálový jeřáb a zařízení k uspokojení funkčních požadavků a podmínek obsluhy.

Výrobce musí poskytnout:

- | | |
|----------------------------|--|
| Technické informace | Technické informace a zkušební certifikáty pro jeřáb k usnadnění jeho montáže, zkoušení a použití v souladu s ISO 7363 a přiměřené pro zařízení
Návod k obsluze, který má obsahovat podrobnosti běžné obsluhy, kontroly a údržby jeřábu
Informace ke vztyčení, pokud se vyžadují |
| Rozměry jeřábu | Obecná schémata uspořádání spolu s rozměry znázorňujícími splnění požadavků kupujícího, včetně jeho omezení |

4.3.4 Všeobecný návrh jeřábů

Návrh jeřábu je popsán v normě ČSN EN 13 001, kde jsou rozebrány různé části mostových jeřábů, kterými jsou například ložiska, kola, nosníky nebo svary. V normě jsou také popsány různé pravidelné, či nahodilé druhy zatížení.

5 Rešerše soudobé používané techniky

5.1 Jeřábové dráhy

Pro správnou funkci mostového jeřábu musí být montážní plocha opatřena tzv. jeřábovými drahami, které jsou určeny pro pojezd samotného jeřábu. Návrh takovéto dráhy musí podléhat aktuálně platné technické normě dané EU. [1]

Takováto dráha je většinou tvořena nosníkovou konstrukcí, na které je navařena kolejnice, nebo ocelovými nosníky podvěsných jeřábů. Někdy se můžeme setkat se samostatnou kolejí na podloží, kterým může být například betonový pás, ke kterému je kolejnice uchycena přes svěrky, které jsou buď přišroubované, nebo přivařené. Součástí dráhy jsou většinou i nutná příslušenství jako jsou nárazníky, narážky, lávky, plošiny, žebříky, zábradlí, nebo vedení elektrotechniky. [1]

Dráhy jsou popsány svou únosností a modulem, jenž uvádí podélnou vzdálenost podpor. Pro větší zatížení kdy na kolejnici působí síla o velikosti cca 100 t, se dělají tzv. kolejnice samostatné, kdy jsou uchycené k jeřábové dráze přes rektifikované podložky, které vymezují vůle mezi kolejnicí a podložím. Tyto podložky mohou vyrovnávat plošné nerovnosti a tak zlepšovat kontakt kolejnice, zabraňovat bodovému zatížení a s tím spojenými projevy únavy materiálu. Toto se pak projeví na snížení přenášených vibrací do podloží, ke snížení hlučnosti a nakonec ke snížení případného opotřebení podloží. [9]

Jeřábové dráhy se při montáži, předávání a při samotném provozu musí pravidelně kontrolovat podle aktuálních norem přesnými metodami jako je například metoda záměrné přímký, nebo prostorová polární metoda. Jinými slovy musí být dráha po instalaci geodeticky zaměřena. [3]

5.2 Typy jeřábů

5.2.1 Podvěsné jeřáby

Podvěsné jeřáby (Obr. 1) jsou velice podobnou variantou mostových jeřábů. Rozdíl mezi těmito variantami je ten, že pojezdová kola nejsou na jeřábové dráze „položena“ na horní pásnici, ale jsou zavěšena zespodu na spodní pásnici. Toto řešení může být použito tehdy, kdy nejsou nosné sloupy uzpůsobené k montáži jeřábové dráhy. U tohoto provedení také může dojít



Obr. 1 Podvěsný jeřáb

ke zvětšení světelné výšky jeřábu, avšak na úkor vyššího zatížení stropní konstrukce nebo vazníků. Většinou se toto řešení používá u jednonosíkových jeřábů pro aplikace s nižší kapacitou. Technické

systemy a způsob jakým je jeřáb ovládán se od mostových jeřábů neliší. [1]

5.2.2 Portálové jeřáby

Portálový jeřáb (Obr. 2) se od mostového jeřábu liší tím, že je přes svou konstrukci přímo spojen s úrovní země kde je umístěna kolejnice po které tento jeřáb pojíždí a vykonává podélný pohyb. Toto konstrukční řešení je vhodné tam kde nelze instalovat jeřáb mostový.



Obr. 2 Portálový jeřáb

Portálový jeřáb má většinou jeden až dva mosty, které jsou pevně spojeny s nohou portálového jeřábu, jenž je připevněna na příčnicku osazeném pohonem a pojezdovými koly, které jezdí po dané kolejnici. Toto řešení má však svou nevýhodu v podobě kolejí a pohybujících se nohou v oblasti pod samotným mostem. Způsob ovládání tohoto jeřábu je opět shodný s mostovými jeřáby. [1]

5.2.3 Mostové jeřáby [1]

5.2.3.1 Funkce mostových jeřábů

Dnes jsou elektrické mostové jeřáby nejčastěji používanými jeřáby na světě. Důvod jejich popularity je ten, že mají skvělé funkce a vlastnosti.

- Plynulost přemísťovacího procesu
- Vysoký výkon při malém požadavku na údržbu
- Vysoká účinnost, malá hlučnost
- Řada spolehlivých protékacích systémů k ochraně operátorů jeřábu
- Možnost úplného dálkového i manuálního ovládání
- Jednoduchá konstrukce, snadná obsluha, instalace a údržba

5.2.3.2 Použití mostových jeřábů

Mostový jeřáb má velmi široké pole použití. Je známo, že se mostový jeřáb používá pro zvedání a přemísťování malých nebo velkých předmětů a to například ve skladech, garážích, dílnách, továrnách na výrobu a údržbu nebo montážních továrnách, přičemž může být provozován jak ve vnitřních prostorech, tak ve vnějších.

5.2.3.3 Volba mostových jeřábů

Mostový jeřáb může být navrhnout a vyráběn v různých velikostech, nosnostech a podobách. Volba správného typu je tedy při vybírání mostového jeřábu velice důležitá. Rozdílné aplikace vyžadují rozdílné typy mostových jeřábů a zatím neexistuje takový jeřáb, který by byl použitelný v každé situaci. Při volbě jeřábu je tedy nutné, aby se vzali v úvahu následující specifikace:

- Pracovní prostředí, vnitřní nebo venkovní užití
- Pracovní podmínky a pracovní teplota
- Typ a váha přepravovaného materiálu
- Požadovaná kapacita nebo jmenovité zatížení
- Délka rozpětí jeřábu
- Jak často bude jeřáb užíván

Mostové jeřáby se vyrábějí kusově, na míru, tak aby byly vždy splněny rozdílné potřeby a požadavky zákazníka.

5.2.3.4 Konstrukce mostových jeřábů

Mostové jeřáby rozlišujeme na jednonosníkové, dvounosníkové a případně vícenosníkové v závislosti na počtu mostů.

Srdcem mostového jeřábu je tzv. zdvihací zařízení, jinak nazýváno také jako kladkostroj. Toto zdvihací zařízení je umístěno na jednom nebo mezi dvěma mosty v případě dvounosníkového provedení po kterých se pohybuje v podélném směru a dnes bývá většinou poháněno elektrickou nebo u malých jeřábů ruční energií. Samotný kladkostroj je vybaven převodovkou, elektromotorem, brzdou, spojkou a tzv. tažným elementem, kterým může být například lano, nebo řetěz na kterém je přidělán hák, nebo jiné příslušenství k uchycení břemene. Potom se jedná buď o lanový, nebo řetězový kladkostroj.

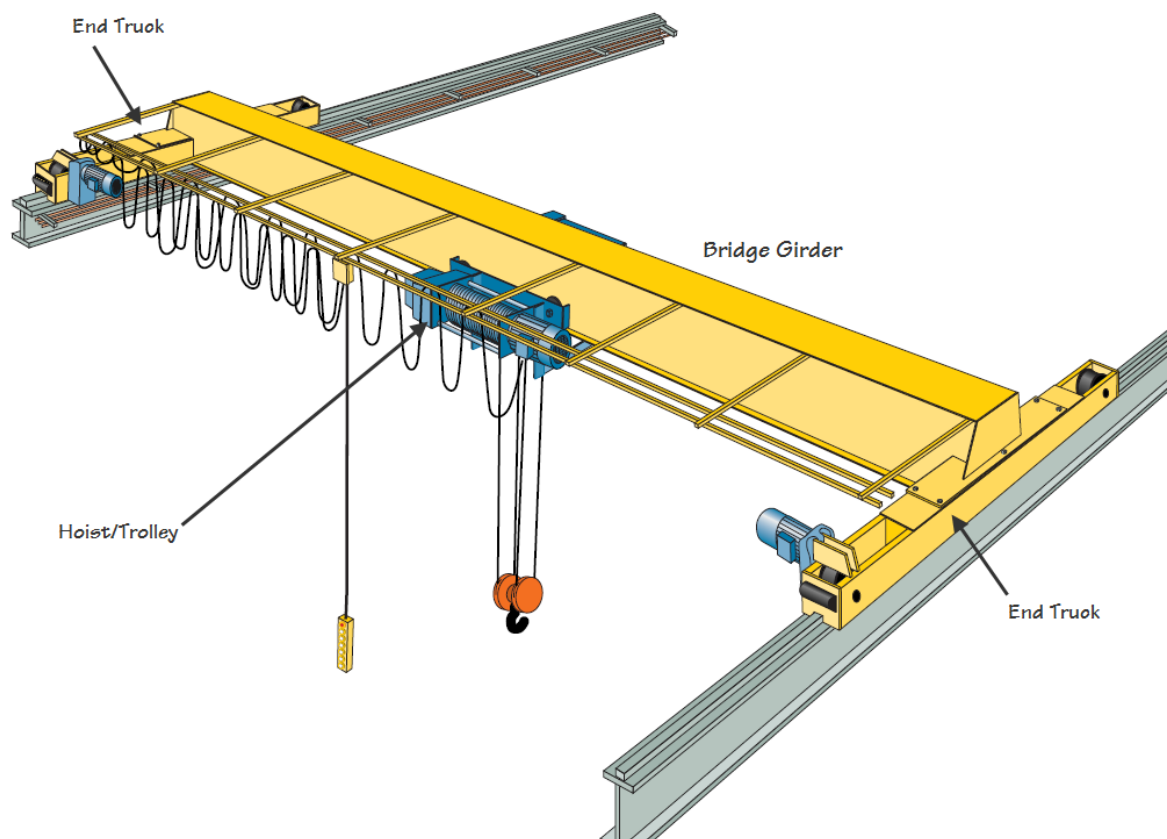
Další částí mostového jeřábu je příčník. Příčník je většinou přišroubován, nebo svařen se samotným mostem na obou jeho koncích. Je-li mostnice přichycena pomocí šroubů, lze toto spojení provést v tzv. kluzném provedení, kdy je umožněno natáčení nosníku zprava doleva od osy jeřábové dráhy. Toto řešení je možné díky plastickému materiálu, který se nachází mezi příčníkem a samotným mostem. Takto vybavený most může dopomáhat k vyrovnávání geometrických nepřesností na jeřábové dráze. Dále je příčník osazen pojezdovými koly, které jsou většinou opět poháněny elektromotorem. Kola bývají uloženy ve speciálních domečcích s vysoce kvalitními ložisky. Příčník se tedy pohybuje nad pojezdovou dráhou a vede most v příčném směru, protože pojezdová kola jsou vedena po kolejnicích pomocí náloleků nebo bočních kladek.

Důležitými součástmi jeřábu jsou také napájecí a ovládací obvody, elektroinstalace a popřípadě zavěšený ovladač s tlačítky, nebo joystickem – není-li jeřáb rádiově ovládaný. Ovládání může být také v tzv. režimu Master/Slave nebo Master/Master, pro synchronní ovládání dvou jeřábů nebo koček. Elektromotory jsou většinou asynchronní třífázové motory řízené zpravidla měničem frekvence s nastavitelným režimem rozběhu a brždění pro plynulý chod a omezení rozhoupání břemene což přispívá k bezpečnosti při manipulaci se zavěšeným břemenem. [4]

5.2.3.5 Rozdělení mostových jeřábů z hlediska počtu nosníků

5.2.3.5.1 Mostový jeřáb jednonosníkový

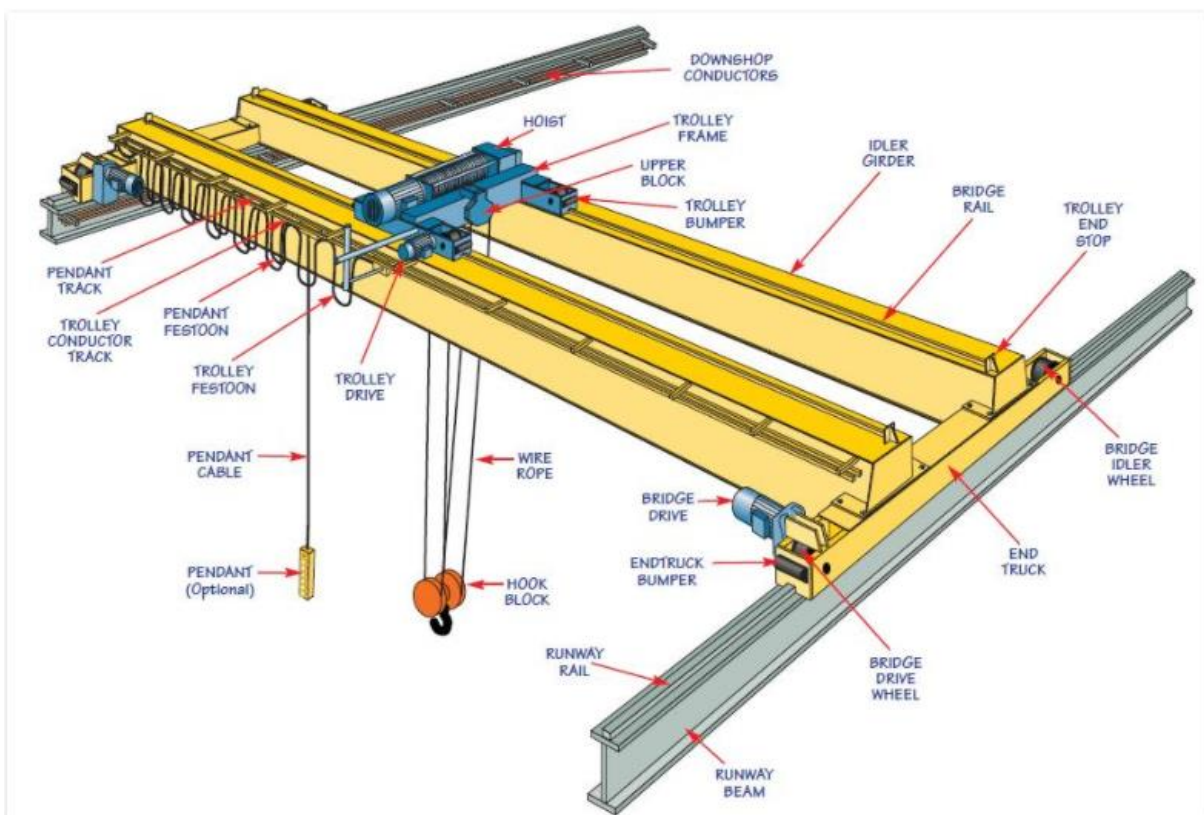
Tento mostový jeřáb je složen z jednoho nosníku, jenž je na každé straně připevněn k příčnicku. Obecně je tento typ jeřábu konstruován a vyráběn pro lehčí provoz – tedy pro hmotnosti v rozmezí od 63 kg do cca 25 000 kg. Rozměrově bývá malý a lehký, ale jejich rozpětí může být klidně i 30 m. Kromě toho je díky jeho kompaktním rozměrům velmi snadno přemístitelný, instalovatelný a ovladatelný. Je tedy především vhodný do malých dílen, opraven, skladů a garáží. Jsou jednodušší a levnější než jeřáby dvounosníkové, ale jsou navrženy dle stejných norem, tudíž jsou stejně spolehlivé. Většinou se používají podvěsné kočky, ale v případě požadavku na maximální výšku zdvihu možno použít kočky konzolové. [2]



Obr. 3 Mostový jeřáb jednonosníkový

5.2.3.5.2 Mostový jeřáb dvounosníkový

Tento mostový jeřáb je složen z dvou nosníků, jenž jsou na každé straně připevněny k příčnicku. Obecně je tento typ jeřábu konstruován a vyráběn pro těžší provoz, nebo pro speciální aplikace, kde musí jeřáby zvládnout těžší nosnosti v rozmezí od cca 10 t až do 250 t a delší rozpětí. Mají silné zvedací zařízení a stabilní výkon. Mezi nosníky může být snadno montována příčná lávka, která může sloužit k snadnějšímu servisu samotného jeřábu, nebo například k údržbě světel nebo rozvodů na hale. Stejně jako jednonosníkové mostové jeřáby mohou být dvounosníkové jeřáby ovládané zavěšeným ovladačem, nebo rádiově. Ve speciálních případech mohou být ovládané dokonce z kabiny daného jeřábu. Při dvounosníkovém provedení kočka často pojíždí horní pásnice nosníků. [1]



Obr. 4 Mostový jeřáb dvounosníkový

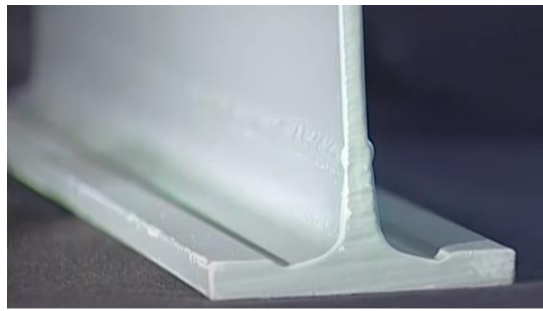
5.2.3.6 Mostové jeřáby dle provedení nosníku

5.2.3.6.1 S plnostěnným válcovaným nebo svařovaným nosníkem

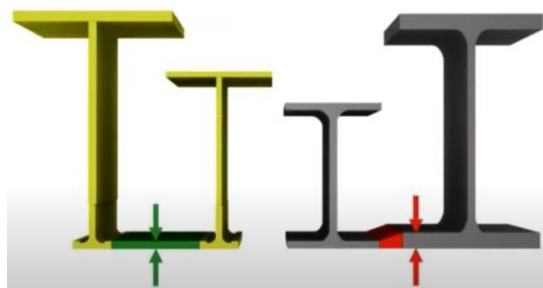
Výhodou těchto nosníků je jejich jednoduchá konstrukce a tudíž i výroba, nevýhodou je ale vysoká hmotnost. Zvýšení tuhosti lze provést jednoduchým přivařením dalších profilů.

Pro lepší únosnost pojezdové pásnice byl firmou Cleveland Tramrail patentován systém Tarca® Track (Obr. 6), kdy se ke klasickému T nosníku zespodu přivaří druhý T profil se zvýšeným běhounem pro lepší vedení kočky, který je ale vyroben z vysokouhlíkové manganové oceli a lépe tak odolává ohybovým účinkům působících od kol kočky.

Výhodou tohoto systému je, že se dá unifikovaný spodní profil přivařit k různým velikostem travéz a proto nejsou nutné všelijaké modifikace jeřábového příslušenství. Přivařený T profil se méně opotřebovává, čímž se snižují náklady na údržbu a je vyroben v přesnějších tolerancích což vede k plynulejšímu průběhu valení kola po pásnici a zvýšení životnosti tratě. [5]



Obr. 5 Svařovaný nosník

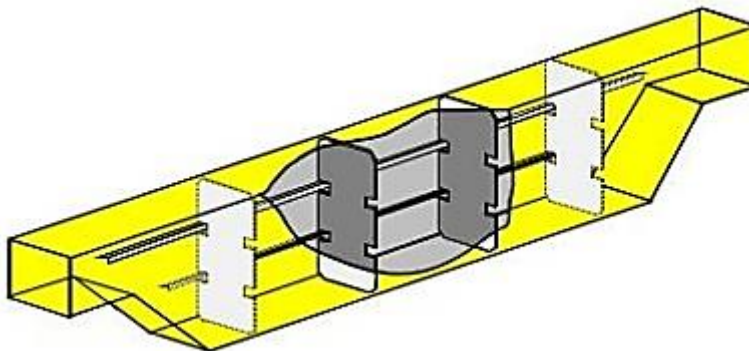


Obr. 6 Tarca® Track

5.2.3.6.2 S nosníkem krabicového (skříňového) profilu

Tento typ nosníku je charakterizován tím, že je na rozdíl od plnostěnného nosníku vyztužen svislými pásy plechu, které jsou přivařeny k horní, spodní a případně i boční pásnici. Dnešní krabicové nosníky (Obr. 7) se vyrábí tak, že vyztužující plechy vyčnívají směrem ven z nosníku a jsou tudíž přivařeny zvenčí – to pak usnadňuje a urychluje případnou kontrolu samotných svarů při případné revizi nebo montáži jeřábu a také umožňuje použití svařovacích automatů, které mohou svou spolehlivostí zajistit bezchybné svary.

Díky požadavku na usnadnění dopravy, manipulace, montáže a tedy i snížení celkových nákladů se dnes můžeme setkat také s nosníkem s dělenou konstrukcí – takovýto nosník je ve své půlce spojen několika vysokopevnostními šrouby a ocelovými deskami, které spojují obě půlky nosníku, kdy se jedná o jednoduchý spoj, na který není potřeba žádné speciální nářadí. V případě potřeby nemusí být nosník rozdělen přesně v půlce. Nosník tohoto provedení může být ale rozdělen jen jednou. [4]



Obr. 7 Skříňový nosník

5.2.3.6.3 S příhradovým nosníkem

Tento typ jeřábu si i přes svou lehkou konstrukci a zvýšený počet operačních cyklů zachovává vysokou nosnost i stabilitu. Příhradová konstrukce může mít příznivé vlastnosti z hlediska tlumení rezonancí konstrukce. Další výhodou je například úspora materiálu při samotné výrobě.

Speciálním příkladem tohoto provedení může být jeřáb firmy Demag cranes (Obr. 8), který se pyšní jedinečnou konstrukcí převzatou ze struktury kostí zvířat pomocí metod a systému pozorovaných v přírodě (JBE) – materiál je doplněn jen tam, kde je ho skutečně potřeba. Vyztužené jsou proto jen ty části, které jsou vystaveny vyššímu namáhání. Tlakové a tahové síly jsou pak optimálně distribuovány přes membránové spoje. Tento jeřáb tedy disponuje vysokou výkonností, přesností a stabilitou. Jeřáb pro představu váží přibližně o 17% méně než jeřáb, který má mostnici krabicového typu. [4]



Obr. 8 Nosník Demag V navržený pomocí JBE (Bionic Engineering)

5.2.4 Jeřáby do provozů s nebezpečím výbuchu

Nevýbušné jeřáby jsou speciálním provedením mostových nebo podvěsných jeřábů pro provoz ve výbušné atmosféře. Technologie ochrany proti explozi může na dnešním trhu poskytnout například firma Stahl. Takovéto jeřáby musí splňovat platné bezpečnostní směrnice souvisejících s ochranou proti výbuchu – evropskou normu ATEX.

Jeřáby v nevýbušném provedení se používají v mnoha odvětvích: v chemickém a petrochemickém průmyslu, v těžbě, výrobě energie, potravin a u léčiv. Upravené jeřáby pak mohou být použity i v takových prostředích, jako jsou například lakovny, přečerpávací plynové stanice, nebo prostředí s nebezpečím výbuchu prachu a podobně. [1]

5.3 Speciální vybavení jeřábů

Jeřáby mohou být vybaveny nejrůznějším příslušenstvím usnadňujícím manipulaci s přepravovanými břemeny. V základu bývá u jeřábu pouze hák, za který se břemeno zavěsí. Při použití aditivního příslušenství lze pak použití jeřábu značně rozšířit. [1] [2]

5.3.1 Jeřáby s drapákem

Dle tvaru:

- Vidlicový drapák
- Polypový drapák
- Lžicový drapák

Dle provedení:

- Lanové - vhodné pro nabírání materiálu v těžkých provozech (slévárny, hutě)
- Hydraulické - vhodné pro nabírání sypkého materiálu
- Hydraulické drapáky pro práci pod vodou

5.3.2 Jeřáby s vážením

- Vážicí zařízení s displejem
 - Umístitelné na jeřáb, na kočku nebo přímo do radiového ovladače.
 - Přesnost může sahát až k vysoce přesnému obchodnímu vážení.

5.3.3 Ostatní příslušenství

- Magnety
- Speciální manipulační traverzy
- Vakuové přísavky
- Smyčky
- C-hák
- Zdvihací svěrka



Obr. 9 Polypový drapák



Obr. 10 Vakuové přísavky

5.4 Jeřábové kočky

Jeřábové kočky slouží k pohybu s břemenem po podélné ose mostu. Pojezd kočky po mostu může být v nejjednodušších případech ruční, většinou se ale využívá pojezdu elektrického. Celá kočka jde objednat jako celek, který se pak jen přidělá k samotnému mostu.

Kočky dělíme na:

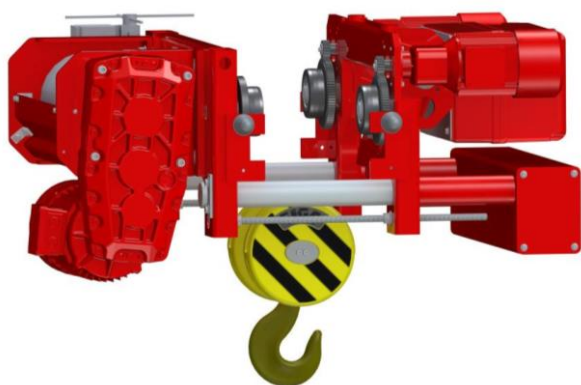
- 1) Podvěsné – které se většinou využívají u jednonosníkových jeřábů, kde pojíždí po spodní pásnici nosníku. Lze je použít i u dvounosníkových jeřábů.
- 2) Kočky pojíždějící horní pásnici – využití u dvounosníkových jeřábů

5.5 Kladkostroje

Kočky jsou vybaveny zařízením, které umožňuje zvedání a spouštění břemene – takovéto zařízení se nazývá kladkostroj, který může být vybaven celou řadou technologií, jako je třeba spojka, brzda, elektromotor nebo převodovka.

Kladkostroje můžeme dále dělit na:

- 1) Řetězový kladkostroj (Obr. 12) – má menší nosnost než lanový kladkostroj, bývá na kočku jednoduše zavěšen, řetězový ořech uvnitř kladkostroje, jenž unáší řetěz, může být poháněn ručně nebo elektricky. Řetězové kladkostroje se mohou vyznačovat méně plynulým chodem, což nemusí být pravidlem. Obecně známo je to, že jsou kladkostroje osazené řetězovým tažným elementem menší, lehčí a hlavně levnější.
- 2) Lanový kladkostroj (Obr. 11) – může mít mnohem vyšší nosnost než řetězový kladkostroj. Většinou bývá rovnou součástí kočky. Je opatřen elektricky poháněným bubnem, na který se navíjí lano – navijákem. Pro zvětšení únosnosti (zmenšení síly v laně a tím i snížení požadovaného točivého momentu) se používají volné kladky. Kladky jsou uloženy na kladnicích, ke kterých je pak otočně připevněn i hák. Na rozdíl od řetězového kladkostroje kde je břemeno zvedáno a spouštěno pouze vertikálně, se lanové kladkostroje vyznačují tím, že se hák posouvá lehce do strany vlivem navíjení lana na buben.



Obr. 11 Lanový kladkostroj



Obr. 12 Řetězový kladkostroj

5.6 Vázací prvky a tažné elementy

5.6.1 Řetězy

Vyrábějí se jako článkové, mají menší bezpečnost než lana nebo popruhy ale dobře odolávají otěru nebo řezu.

Dnešní řetězy mohou dosahovat nosnosti až kolem 25t. Své užití mohou nalézt především v těžkém průmyslu, jímž je třeba hutní nebo strojírenský průmysl. Řetězy se také používají ve stavebnictví a někdy i v lehkém průmyslu.

Obecně platí, že celková nosnost řetězu, nebo řetězových úvazků a komponent se odvíjí od maximální únosnosti jeho nejslabšího článku. Samotný řetěz je pak specifikován průměrem a roztečí článku.

Nejnovější řetězy se vyrábějí pomocí metody, kde je využíváno svařování třením předem vyrobených článků, které mohou mít větší dotykovou plochu než konvenční svařované řetězy. [10]



Obr. 13 Řetězový úvazek

5.6.2 Lana

5.6.2.1 Textilní lana

- Složení: Provázky, pramence, prameny
- Typy: Konopná, polyamidová

5.6.2.2 Ocelová lana

Ocelová lana jsou normalizovaná. Často se rozlišují velikostí, únosností a jejich uspořádaností čímž jsou ovlivněné jejich výsledné funkční vlastnosti.

- Složení:
 - Duše, drátky, prameny (svinuté drátky)
- Typy:
 - Jednoprarmenná – použití u lanovek nebo při kotvení
 - Víceprarmenná – obvykle šestipramenná
 - Plochá ocelová lana – zapletená
 - Používají se při požadavku široké nosné plochy při zachování odolnosti a pevnosti ocelových lan nebo řetězů.

5.6.2.3 Vinutí lan

- Protisměrně – nerozplétají se a netvoří smyčky, jsou tužší
- Stejnsměrně – použití u výtahů

5.6.3 Textilní popruhy a smyčky

S nekonečnými smyčkami, zvedacími pásy (Obr. 14) nebo splétanými vázacími smyčkami (Obr. 15) se můžeme setkat jak v oblasti lehkého průmyslu, tak i v oblasti toho těžkého. Zpravidla slouží výhradně k zavěšování, zvedání a spouštění břemen. O těchto vázacích prvcích lze říci, že jsou šetrné k povrchu břemen. Další výhodou je že disponují velice malou hmotností v závislosti na jejich únosnosti. Často bývají barevně rozlišovány podle jejich únosnosti. Nevýhodou je že se dají použít pouze v určitém rozmezí teplot – přibližně od -40°C do $+100^{\circ}\text{C}$. [10]



Obr. 14 Plochý textilní pás



Obr. 15 Kombinovaný úvazek

5.7 Chytré funkce jeřábů firmy Konecranes

Firma Konecranes – jedna z předních výrobců jeřábů – vyvinula celou řadu chytrých funkcí pro jejich jeřáby, aby tak zvýšila svou konkurenceschopnost na trhu. Jedná se především o elektroniku kontrolované procesy, jež usnadňují ovládání jeřábu a které pomáhají zvyšovat efektivitu práce. Těmito funkcemi ovšem nedisponují pouze jeřáby firmy Konecranes, nýbrž všechny moderní jeřáby uvedené na trhu. Takto upravené jeřáby samozřejmě zvyšují finální cenu výrobku a záleží jen na zákazníkovi, jestli jimi bude disponovat i jeho jeřáb. U dnešních jeřábů se můžeme setkat s následujícími funkcemi: [15]

- 1) **Sway control** – jedná se o funkci, jež minimalizuje rozkývání břemene vlivem zrychlení, nebo zpomalení mostu a kočky
 - Zrychlení manipulace s břemenem
 - Zvýšení přesnosti polohování
 - Snížení rizika poškození břemene nebo jeho okolí
- 2) **Active sway control** – Tlumí již rozkývané břemeno
- 3) **Snag prevention** – Zastaví jakýkoliv pohyb jeřábu při neočekávaném zachycení háku či břemene o překážku
 - Minimalizace vzniku nebezpečných situací
 - Snížení rizika poškození břemene a jeho okolí
- 4) **Adaptive speed range (ASR) a Extended speed range (ESR)** – optimalizují rychlost jeřábu (pojezdu a zdvihání) => nezatížený hák se může pohybovat rychleji než hák zatížený
 - Zvýšení přesnosti při manipulaci
 - Zrychlení nezatížených přejezdů
- 5) **Assisted load turning** – zachovává lana v přímce kolmo k nosníku jeřábu, eliminuje boční tah
 - Usnadní náročné jeřábové operace a sníží jejich rizika
 - Může zkrátit cyklus manipulace s břemenem
 - Prodlužuje životnost jeřábu
- 6) **Hook centering** – při zdvihu samostatně nastaví most i kočku přesně nad břemeno
 - Eliminuje boční tah
 - Snižuje opotřebávání součástí jeřábu
 - Urychluje manipulační cyklus a usnadňuje obsluhu
- 7) **Follow me** – umožní vést jeřáb pouze rukou bez použití ovladače
 - Urychluje manipulaci
- 8) **Protected areas and working limits** – vytvoří tzv. virtuální stěnu, u které se jeřáb automaticky zastaví a zabrání případné kolizi
 - Ochrana zón s umístěnými strojními zařízeními, skladovacích ploch apod.
 - Zvýšení bezpečnosti provozu
- 9) **Load floating** – Přidrží břemeno v té poloze, v níž bude obsluhou zachováno
 - Snížení četnosti použití a opotřebením ruční brzdy
 - Rychlejší a plynulejší zahájení zdvihání
 - Větší kontrola nad břemenem
- 10) **Hoisting synchronization** – Funkce pracující při využívání dvou a více háků najednou, jež je monitoruje, kontroluje a synchronizuje jejich pohyby
 - Zvyšuje přesnost práce při použití dvou kladkostrojů

- 11) **Microspeed and inching** – Usnadňují velmi jemnou a precizní práci s břemenem
 - Microspeed – velké a rychlé pohyby joysticku převede na pomalé a přesné pohyby jeřábu
 - Inching – Umožňuje nastavit břemeno do přesné polohy vlivem posouvání o velmi malé vzdálenosti
- 12) **Shock load prevention** – funkce jež tlumí rázy přenášené na tažný element a tím i celý jeřáb při zvedání břemene. Zatížení je monitorováno pohonem kladkostroje a při jeho náhlém zvýšení se rychlost zdvihání automaticky sníží.
 - Tlumení rázového zatížení působící na jeřáb a jeho prevence
 - Prodloužení životnost jeřábu a jeho mechanických komponent
- 13) **Slack rope prevention** – Prověšení lana kladkostroje je díky této funkci minimální vlivem zastavení spouštění břemene přesně v okamžiku kdy dosedne do požadované polohy.
 - Redukuje možnost nebezpečných situací
- 14) **Target and end positioning** – Funkce jež umožní přepravit břemeno do předdefinované polohy bez nutnosti manuálního ovládání pohybu jeřábu. Jeřáb do této polohy najede sám.
 - Zkrácení provozního cyklu opakujících se operací

5.8 Životní cyklus zakázky na mostové jeřáby

Životní cyklus zakázky na mostový jeřáb se může lišit v závislosti na velikosti firmy, která jeřáb vyrábí, nebo třeba na složitosti daného jeřábu. Může také nastat situace, že firma již nabízí daný sortiment s danými parametry, který je k dispozici mnohem dříve než kus, který se bude vyrábět přesně na míru.

Při koupi jeřábu se zákazník většinou poptává u daných firem, které mu jsou schopny do týdne stanovit přesnou nabídku, podle které se zákazník může rozhodnout, od které firmy si jeřáb nechá vyrobit.

Pro příklad firma REMO se sídlem v Otrokovicích na svých internetových stránkách uvádí, že je schopna zákazníkovi dodat mostový jeřáb do přibližně devíti týdnů od objednávky, kdy 8 týdnů trvá výroba společně s dopravou na místo instalace a další týden trvá jeho následná montáž, revize a zkoušky. [16]

6 Rozpracování problému

Základním požadavkem na projekt je navržení mostového jeřábu. Tedy zařízení disponující nosníkem (mostem) umožňující přepravu břemene za pomoci daných pojižděných kolejí.

Pro navrhovaný nosník jsou specifikovány následující parametry:

- Rozchod pojižděných kolejí 5 000 mm
- Požadovaná nosnost jeřábu 2 500 kg
- Maximální zdvih háku 6 000 mm
- Pohon mostu elektrický
- Pohon kočky elektrický / ruční
- Pohon háku (navíjení lana) elektrický
- Napájení 400 V / 50 Hz
- Umístění vnitřní užití (dílna)

6.1 Klasifikace jeřábu

Jeřáb jako celek a jeho mechanismy musejí být za pomoci normy ČSN ISO 4301 klasifikovány dle jejich použití.

Klasifikace je provedena podle tabulky č. 1 z normy ČSN ISO 4301-5 s názvem – Vzor klasifikace mostových a portálových mostových jeřábů a jejich mechanismů ve vztahu k použití jeřábu. Podle zadání byla zvolena následující přibližná konfigurace:

Tab. 1 Klasifikace jeřábu

Číslo	Použití	Provozní podmínky	Skupinová klasifikace zařízení jako celku	Skupinová klasifikace mechanismu jako celku		
				Zdvih	Pojezd kočky	Pojezd jeřábu
4b)	Dílenský jeřáb	Pravidelné přerušované použití	A3	M4	M3	M4

Tato klasifikace (Tab. 1) má sloužit pro přesnější specifikaci při předávání informací mezi zákazníkem a výrobcem.

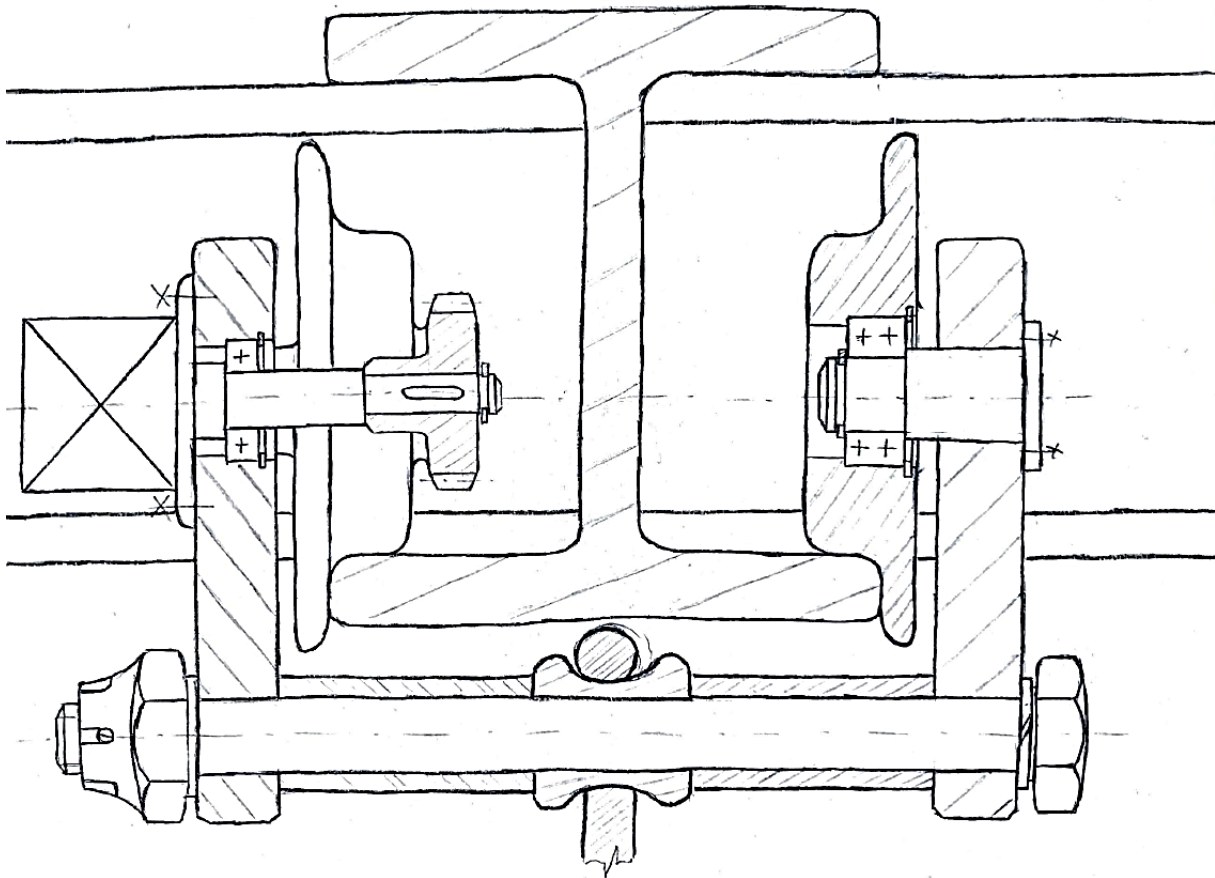
6.2 Návrh alternativ řešení technologického systému

V návrhu byli uváženy 3 varianty řešení, kdy hlavní proměnnou byl příčný profil nosníku a od toho se odvíjející řešení zdvihového a pojezdového mechanismu. Příčnický a příčný pojezdový mechanismus nebyl rozveden do více variant z důvodu blíže nespecifikovaného usazení kolejí – byla uvážena nejběžnější varianta u mostových jeřábů, kdy se nosníková konstrukce nachází pod samotným jeřábem. Technologický systém sloužící k svislému zvedání břemene, běžně kladkostroj, bude položkou nakupovanou z důvodu rozsáhlé propracovanosti a dostupnosti dnes používaných kladkostrojů. Varianta C kladkostrojem nedisponuje a je spíše jen netradičním návrhem řešení.

6.2.1 Varianta A

Tato varianta je konvenčním řešením dnešních mostových jeřábů. Na nosník profilu IPE, je zavěšena pojezdová jednotka (kočka), která nese samotný kladkostroj.

Kočka je pro pojezd po mostu vybavena elektromotorem jak je vidět na schématu (Obr. 16). Kola jsou vybavena okolkem a přenos točivého momentu je proveden pomocí ozubeného soukolí, kdy pastorek je umístěn mezi dvojicí nosných kol. Elektrický proud je pak k pohonné jednotce přiváděn přes energetické řetězy zavěšené podél mostu.

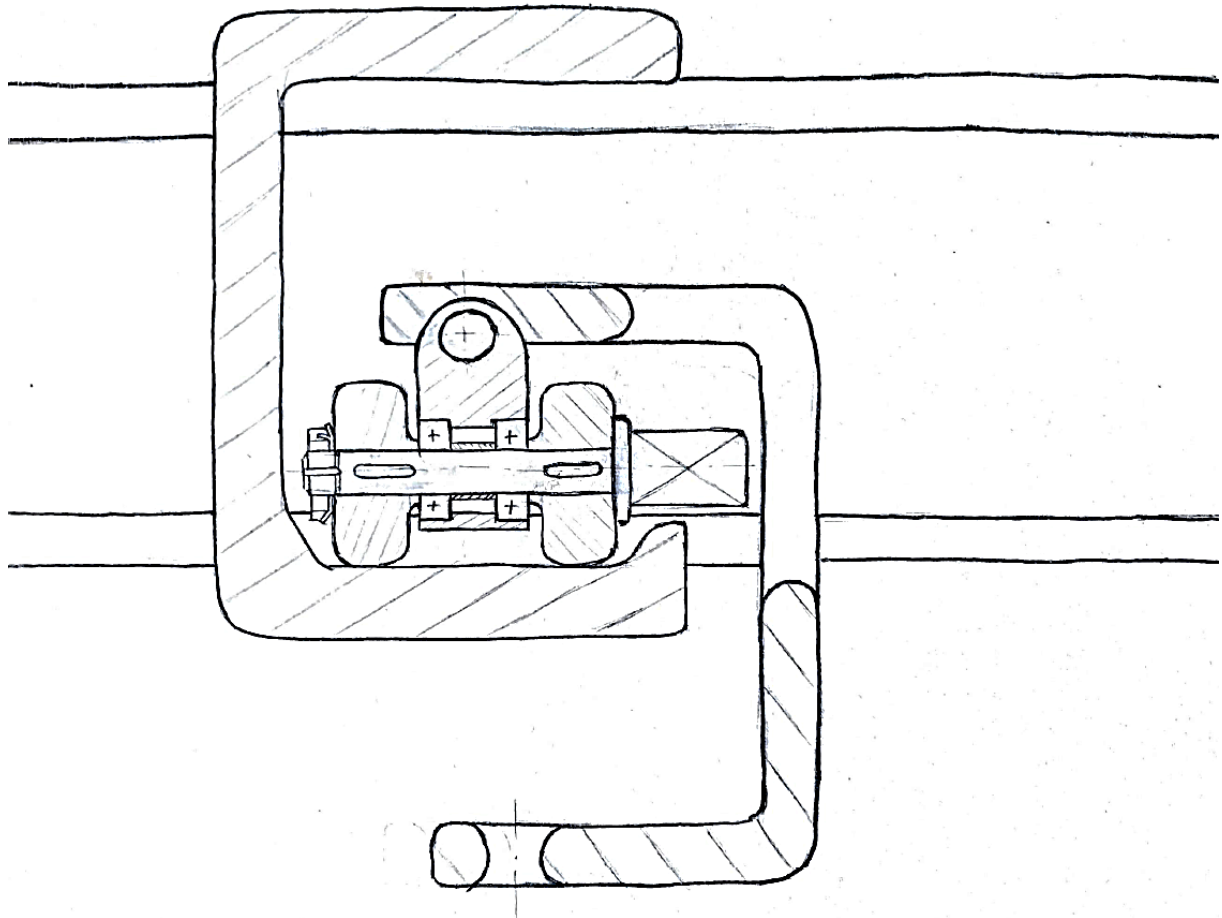


Obr. 16 Schéma varianty A

6.2.2 Varianta B

Tato varianta (Obr. 17) je v této práci prvním netradičním řešením mostového jeřábu, kde bylo cíleno na využití jiného typu nosníku. Uzpůsobená pojezdová jednotka by pak mohla být menší a tím pádem i lehčí. Čím by ale získávala na své váze, tím by ale ztrácela na své stabilitě při naklonění kolem podélně uloženého čepu, které by ale šlo vykompenzovat přidáním třetího opěrného kolečka. Hrana válcovaného profilu UPE by musela být upravena, aby nedošlo k sjezdu pojezdové jednotky z nosníku při případném působení vnějších sil.

V poslední řadě by mohl zaujmout nevšední design kočky. Další nevýhodou oproti IPE nosníku by mohla být zvýšená koncentrace ohybového napětí působícího na spodní pásnici nosníku. Při úpravě provedení by mohl být pohon doplněn převodem.

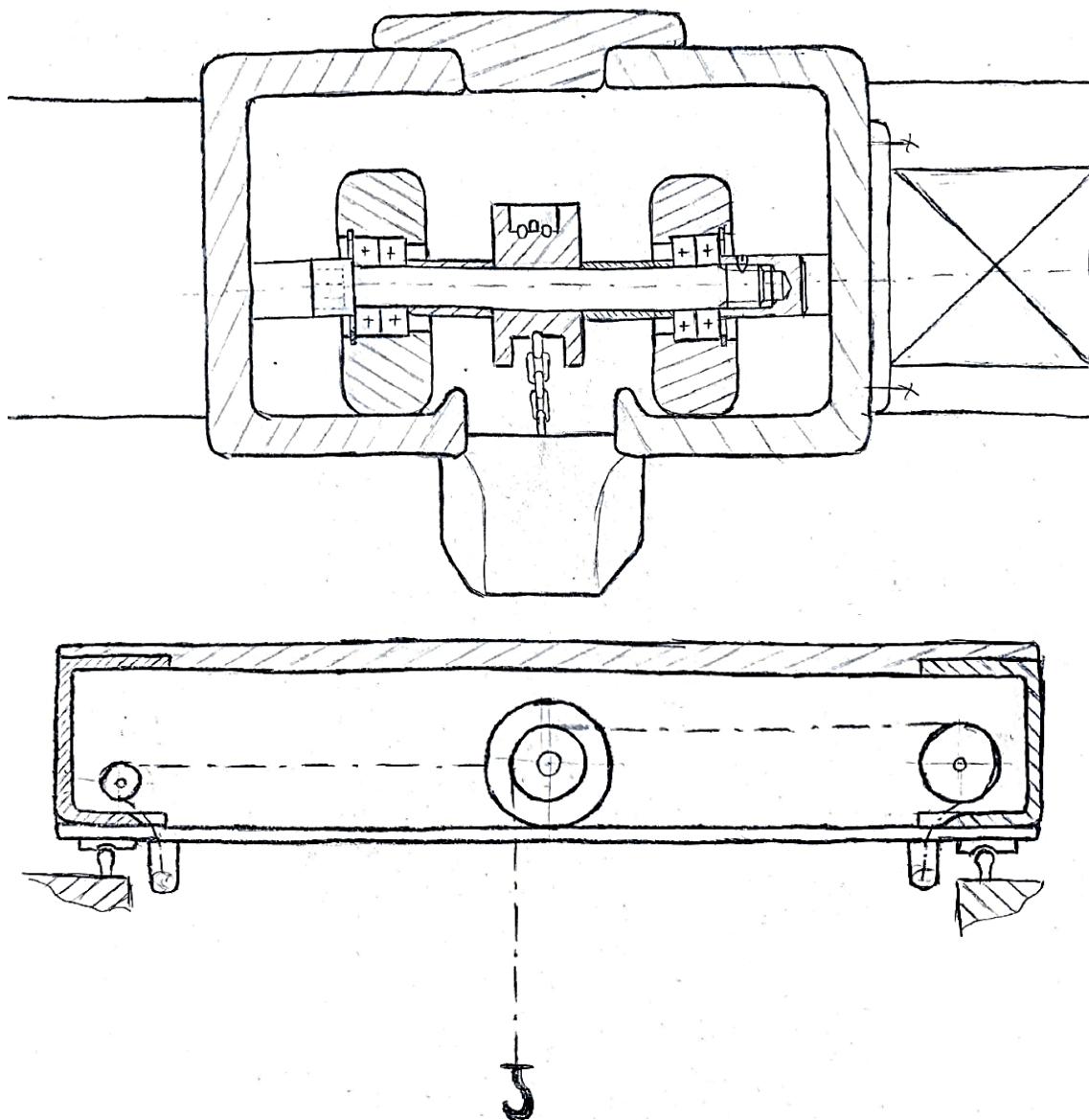


Obr. 17 Schéma varianty B

6.2.3 Varianta C

Třetí varianta je kombinací dvou předchozích, ale přeci jen je svým designem trochu výjimečná. Liší se totiž tím, že nedisponuje zdvihací jednotkou, která by pojížděla podél příčnicku. Veškerá váha od elektromotorů až po brzdy je eliminována umístěním těchto komponent v tělese příčnicku. Po samotném mostu pojíždí pouze kočka, která je spojovacím prvkem zdvihacího řetězu a řetězu, jenž udržuje kočku v požadované poloze.

Nevýhodou je případné duální provedení elektromotorů společně se spojkou a brzdami, protože u konvenčních provedení stačí, když je brzda se spojkou pouze u zdvihadla, nikoli u pojezdové jednotky. V našem případě to takto musí na obou stranách.



Obr. 18 Schéma varianty C

Co se týče údržby, je výhodou umístění techniky v bocích jeřábu, což může být výhodné pro snadný přístup k těmto komponent. Dá se říci, že se tento typ skládá z dvou nosníků tvořících jeden samostatný nosník.

6.3 Hodnocení variant

6.3.1 SWOT hodnocení

6.3.1.1 Tabulka kritérií a jejich hodnocení

Predikce hodnot byla provedena pouze kvalifikovaným odhadem bez odůvodňování a dokumentování.

Hodnocení variant bylo zpracováno pomocí softwaru pana prof. Ing. Stanislava Hosnedla [11]

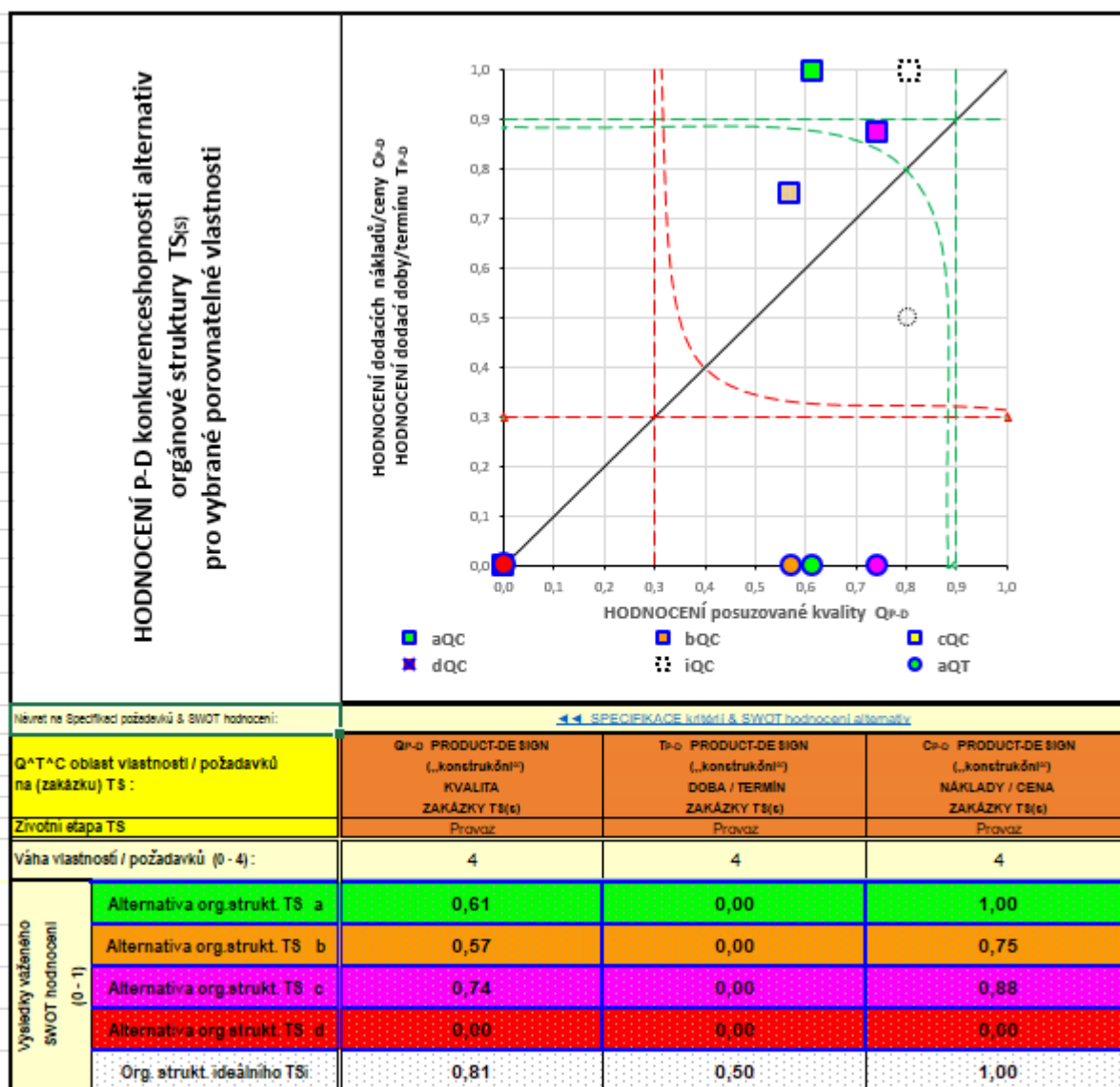
Tab. 2 SWOT hodnocení navržených alternativ

SPECIFIKACE kritérií pro hodnocení				SWOT hodnocení alternativ					
TS(s) :	Mostový jeřáb s elektrickým pohonem			Volitelné:	dolní mez	0,3	horní mez	0,9	
Stupnice hodnocení [NDI-2225 1977]	DIAGR. ▶▶	Požadavek / kritérium	Váha	Alternativa orgánové struktury TS(s)					
	Oblast Q ^A T ^A C	Porovnatelná konkurenční vlastnost	(0 ÷ 4)	a	b	c	d	Ideal	
Hodnocení vhodnosti (min. 0 ÷ max. 4)	Posuzovaná kvalita Q	Maximální světlá výška	4	2	2	4	-	4	
		Celková hmotnost	3	3	4	2	-	4	
		Hmotnost kočky	4	2	3	4	-	4	
		Jednoduchost	3	4	4	3	-	4	
		Náročnost obsluhy	2	4	3	4	-	4	
		Přístupnost	3	3	2	4	-	4	
		Plynulost	2	3	3	4	-	4	
		Tuhost	4	3	2	4	-	4	
		Výkon [množství/čas]	4	4	3	4	-	4	
		Σ hodnocení vhodnosti Q			2,4	2,3	3,0	-	3,2
	Σ normované hodnocení Q (0 ÷ 1)			0,61	0,57	0,74	0,00	0,81	
	Dodací doba/termín T	Celková dodací doba - shodná	4	-	-	-	-	-	4
		Celková montážní doba - shodná	4	-	-	-	-	-	-
		---		-	-	-	-	-	-
		Σ hodnocení vhodnosti T			-	-	-	-	2,0
		Σ normované hodnocení T (0 ÷ 1)			0,00	0,00	0,00	0,00	0,50
	Dodací náklady/cena C	Celkové dodací náklady	4	4	4	4	-	4	
		Celková cena	4	4	2	3	-	4	
		---		-	-	-	-	-	
		Σ hodnocení vhodnosti C			4,0	3,0	3,5	-	4,0
Σ normované hodnocení C (0 ÷ 1)				1,00	0,75	0,88	0,00	1,00	

V tabulce (Tab. 2) je vždy vyznačeno kritérium společně s jeho váhou a odpovídajícím hodnocením s tím, že ideál každého kritéria je hodnota o velikosti 4 bodů.

6.3.1.2 Diagram z výsledků hodnocení

Tab. 3 Diagram hodnocení



Z diagramu je vidět, že dle kvalitativního hodnocení, je na tom varianta C nejlépe. Predikce nákladů a celkové ceny jeřábu byla pro variantu C zhodnocena s domněnkou, že některé komponenty nebudou normalizované a tudíž se budou muset vyrábět.

Co se týče varianty A která v hodnocení nákladů vychází nejlépe, můžeme o ní říci, že se jedná o konvenční provedení a tudíž by se dala většina komponent nakoupit a nemuseli by se vyrábět zakázkově. Z tohoto úsudku vychází kladnější hodnocení varianty A.

6.3.2 Hodnocení rizikových, silných a slabých stránek variant

Tab. 4 Hodnocení variant

Alternativa	A	B	C
Rizika Rizikové stránky / vlastnosti	Zapříčení břemene o hranu	Převrácení kočky	Prověšení řetězu
		Zapříčení břemene o hranu	Poposkočení řetězu
Výhody Silné stránky / vlastnosti	Konvenční provedení	Jednoduchost	Váha kočky
	Osvědčenost	Kompaktní provedení	Vysoká světlá výška
			Zakrytovaná konstrukce
			Dvojitá spojka
			Statické uložení pohonného ústrojí
Nevýhody Slabé stránky / vlastnosti	Více pohyblivé hmoty		Duální provedení pohonného ústrojí
	Nižší světlá výška	Nižší světlá výška	Pravděpodobně vyšší celková hmotnost

Při podrobnější analýze rizik, výhod a nevýhod je zřejmé, že každá varianta bude mít své výhody i nevýhody, jenž jsou důležité pro případné posouzení užití variant ve specifických případech. Jelikož je specifikováno použití v malých dílnách, bylo by asi nejjednodušší řídit se konvenčním řešením problému – tedy variantou A.

Aby tato práce ale nebyla jen dalším z okopírovaných a osvědčených řešení, bylo rozhodnuto dále se zabývat variantou C.

6.4 Návrh hrubé stavební struktury

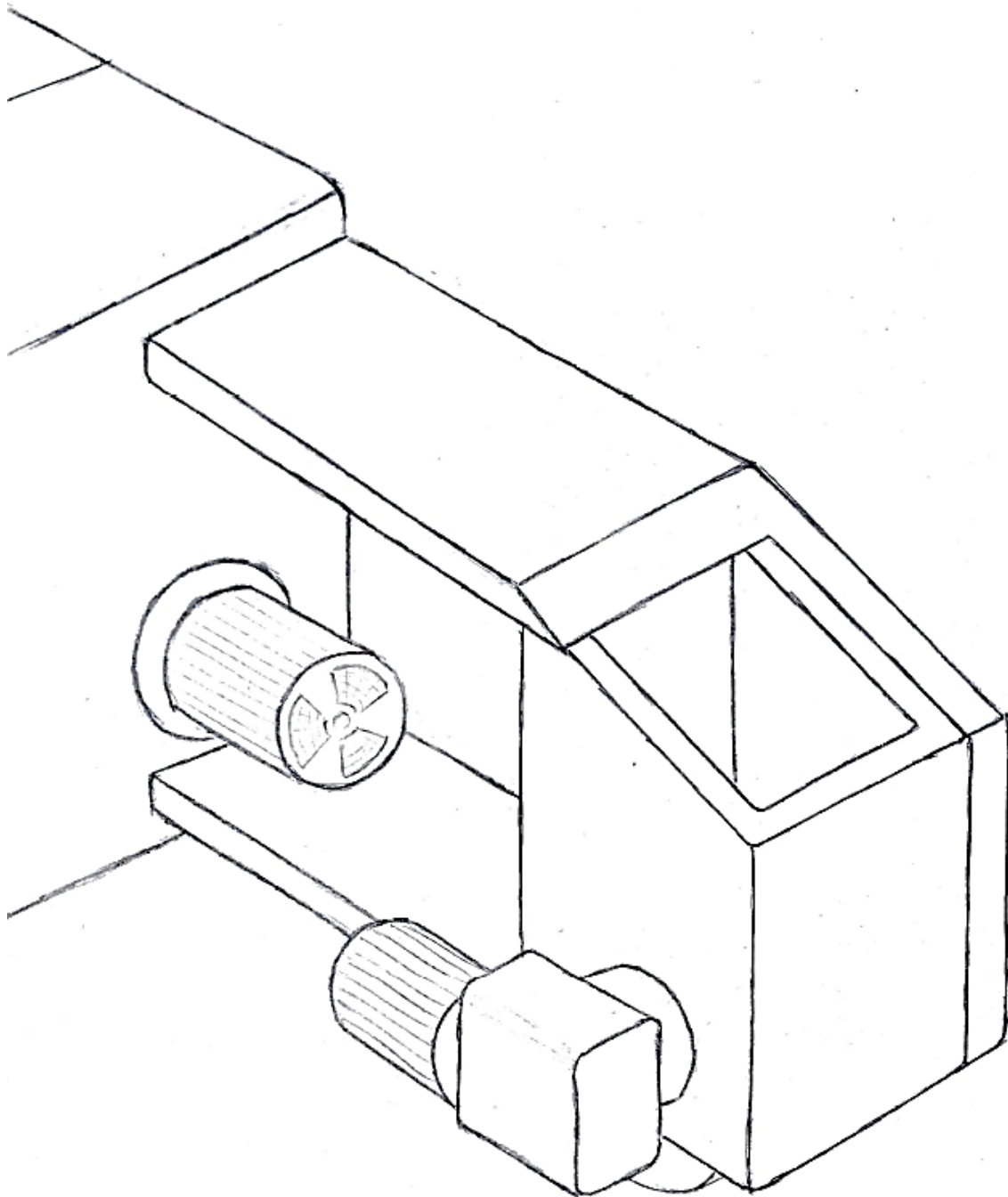
6.4.1 Schématický návrh řešení

Je využito schéma varianty C z předchozího oddílu práce (Obr. 18)

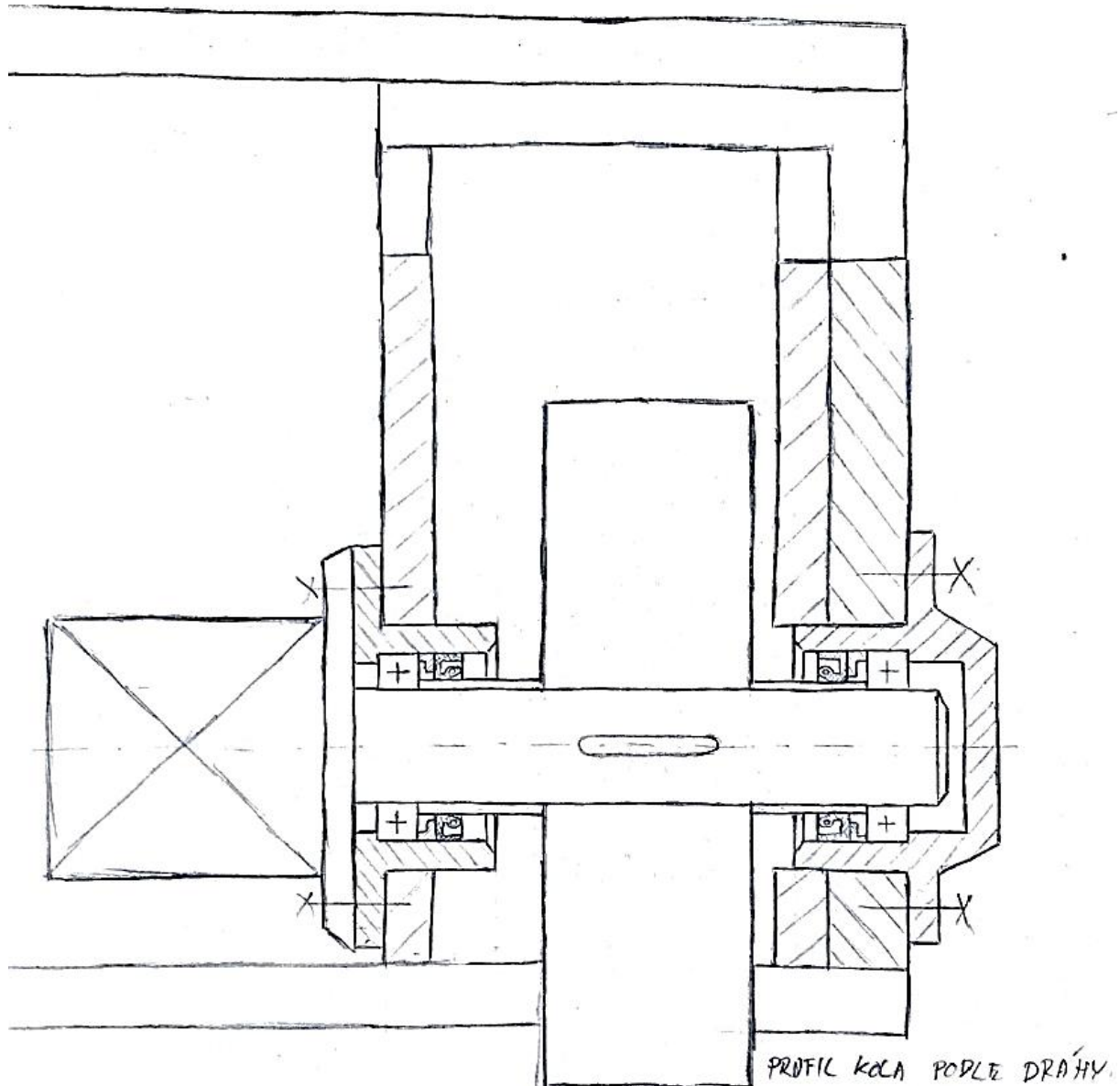
6.4.2 Schématický návrh příčnicku

Příčnick bude tvořen menším nosíkem tvaru UPE který bude sloužit jako protikus pro most. V mostu budou vyříznuty drážky, do kterých bude příčnick zasazen, od čehož se očekává zvýšení tuhosti konstrukce spoje.

Most bude s příčnickem sešroubován, případně přivařen. Kola příčnicku budou poháněny elektromotorem a budou osazeny v ložiskovém domku uvnitř dutého profilu s čtvercovým průřezem. Normalizovaných tvarů je užito kvůli případnému snížení nákladů při výrobě.



Obr. 19 3D pohled na stavbu příčnicku



Obr. 20 Řez návrhu uložení kol příčnicku

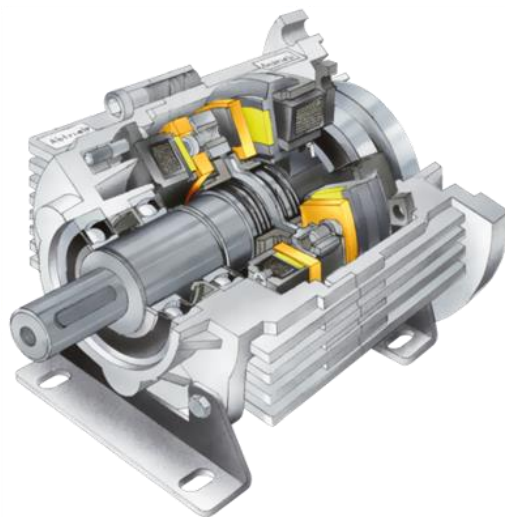
U řešení uložení kol bylo cíleno na jednoduchost a maximální funkčnost systému. Profil kola není znázorněn, protože pojížděná kolej nebyla blíže specifikována.

Do ložiskového domku budou zasazeny dvě příruby, které budou vybaveny radioaxiálními ložisky, jenž budou přenášet vznikající síly od rotující hřídele a kola. Tato podsestava je pak před okolím chráněna těsníci kroužky. Točivý moment je od motoru přes hřídel na kolo přenášen díky těsnému peru.

6.4.3 Návrh pohonu zdvihadla

Pro pohon zdvihadla bude použit elektromotor, který bude muset být schopen zvládnout minimální jmenovitý hnací moment pro zdvih břemene požadovanou rychlostí. Tento motor bude v případě potřeby vybaven převodovkou pro vyrovnání otáček mezi elektromotorem a poháněnou hřídelí.

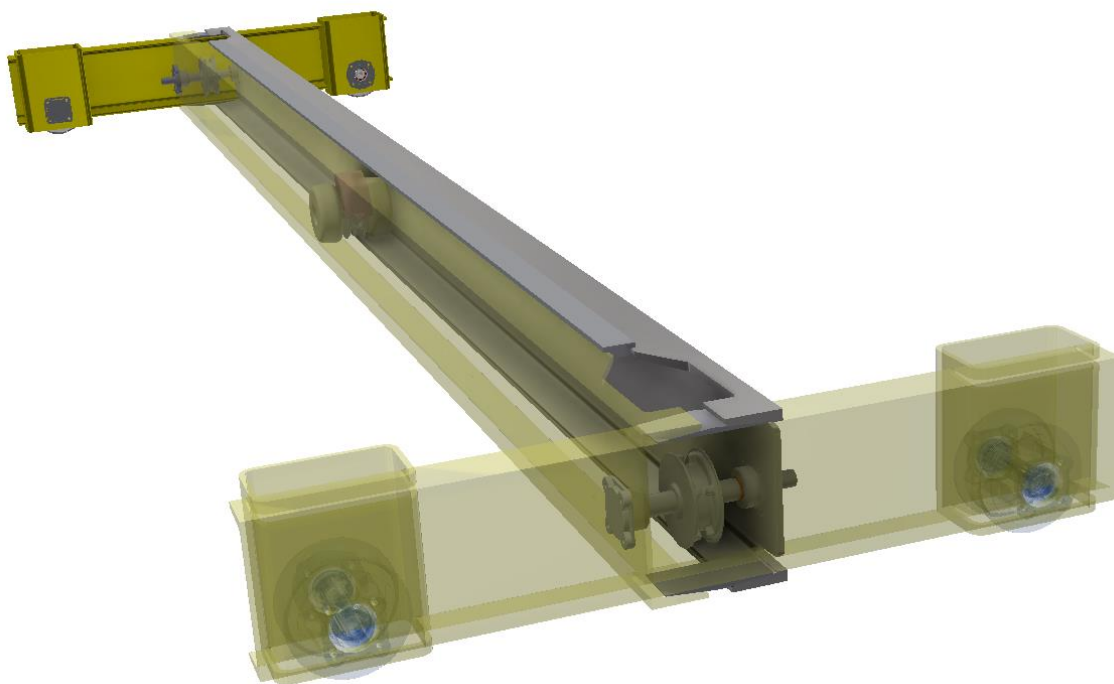
Poháněná hřídel, na které bude umístěn ořech vedoucí řetěz, by mohla být v případě požadavku na plynulejší chod vybavena modulem zobrazeným na obrázku (Obr. 21) obsahujícím provozní brzdou a spojku. Od tohoto uspořádání by se pak mohl očekávat plynulejší provoz jeřábu, při kterém bude vznikat minimum rázů v pohonu soustrojí, které se při jejich výskytu nepříznivě projevují na životnosti a bezpečnosti jeřábu. Další nezbytnou částí bude bezpečnostní brzda, která bude spínat při případném výpadku elektrického proudu.



Obr. 21 ROBA®-takt clutch brake

6.4.4 Model hrubé stavební struktury

Model jeřábu byl vytvořen pomocí softwaru Autodesk Inventor Professional. Rozměry komponent byly voleny odhadem se zřetelem na budoucí upravování těchto rozměrů. Návrh hrubé stavební struktury vybrané varianty:



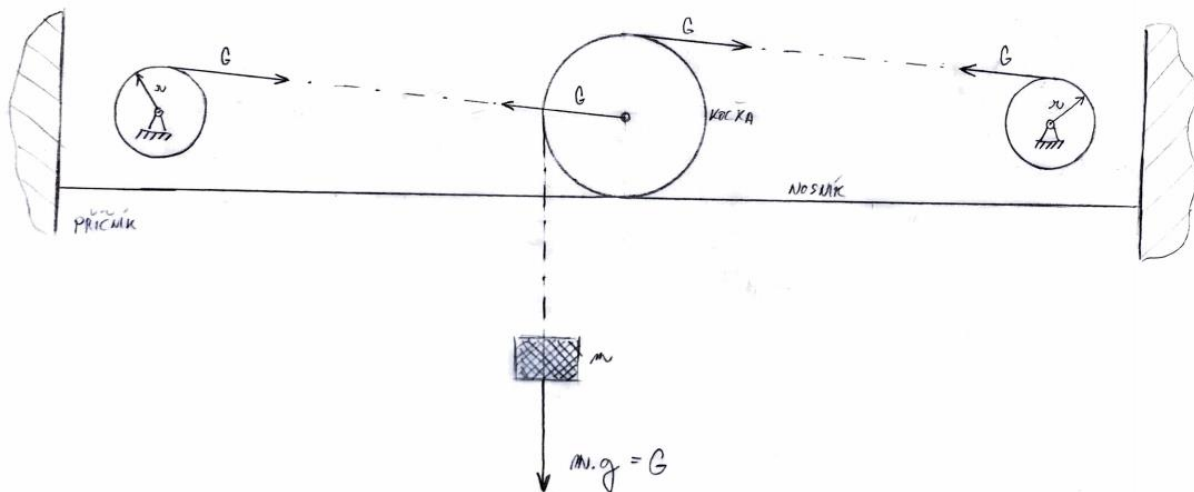
Obr. 22 Model hrubé stavební struktury

Hrubý návrh modelu neobsahuje nakupované příslušenství, které jsou v našem případě elektromotory, brzdy nebo převodovky. V následujícím oddíle bude provedena kontrola nejvíce zatížených komponent, podle které se tento model upraví a optimalizuje. Následně bude model osazen zbylým příslušenstvím.

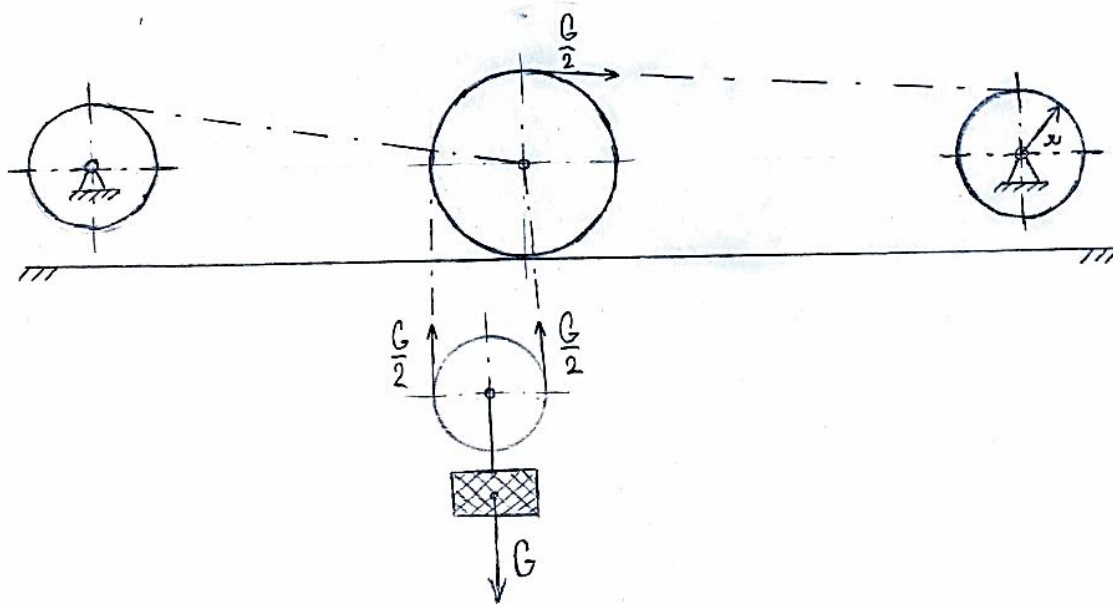
6.5 Kontrola kriticky namáhaných komponent

Jelikož nebude konstruovaný mostový jeřáb vyráběn a tudíž ani uveden do provozu, nebyl výpočet komponent proveden přesně dle odpovídající normy, která není veřejně dostupná a musí být zakoupena. Při výpočtech byli využiti poznatky ze školních předmětů.

6.5.1 Pohon kladkostroje



Obr. 23 Návrh pohonu

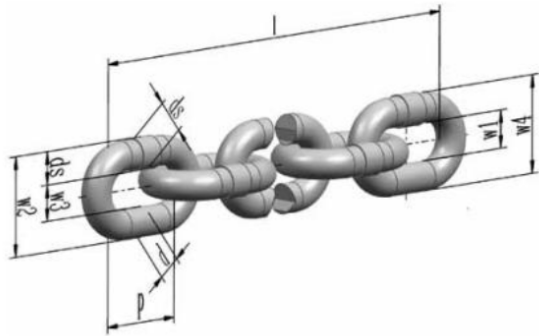


Obr. 24 Návrh pohonu s volnou

Řetěz a kola používaná pro zdvih břemene jsou normalizovaná, proto je možné je zakoupit. Tyto komponenty byli vybrány z katalogu od firmy pewag z kategorie „high strenght chains for hoists“ – vysoce pevné řetězy pro kladkostroje.

Volba tvrzeného řetězu typu G100 [13]:

pewag Type		G100				
Type according to EN 818-7 and ISO 3077		V				
Nominal dia. x pitch Round steel chain	Nominal dia. x pitch Profile steel chain	Capacity according to duty rating group ISO 4301-1 [kg]		Manufacturing proof force	Breaking force	Chain length
dn x p [mm]	dn x p [mm]	M1 (manual.)	M2 / M3 (motor.)	FP [kN]	FB [kN]	[m]
8 x 24	7,4 x 22,2	2.560	1.650	63,3	101,0	100



Order example
100m HEO-chain WN G100 9x27 bf
100m HEO-P-chain WN G100 10x30 bf

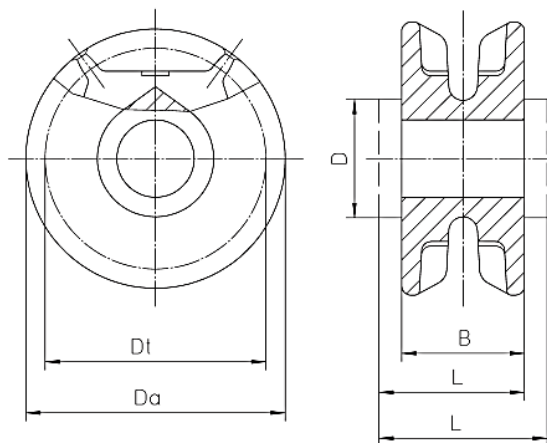
Obr. 25 Volba řetězu od firmy pewag

Dle Obr. 25 by objednávka vypadala takto:
26m HEO-chain WN G100 8x24 bf

Volba kapsového kola [14]:

Provedení	Řetěz	Počet kapes	Roztečná kružnice ø Dt [mm]	Vnější ø Da [mm]	Šířka disku B [mm]	Náboj D [mm]	Náboj L [mm]	Prove- dení modelu	Hmot- nost [kg/ks]
	d x t	z							
TR 8/6	8 x 24 DIN 766	6	93	104	45	41	83	C	2,30

TR Kapsová kola



Obr. 26 Volba kapsového kola od firmy pewag

Příklad objednávky:

4ks kapsových kol TR 8/6 GS 52E pro řetěz HEO-chain WN G100 8x24 bf,
počet zubů z = 6
vrtání náboje = 55H7 s drážkou pro 3 těsná pera dle ČSN 02 2562, provedení C

Moment působící od břemene přes poháněný ořech:

Pro původní řešení (Obr. 23):

$$M_b = \frac{D_t}{2} G = r_o m_b g = 0,0465 * 2500 * 9,81 = 1140,4125 = 1141 \text{ Nm}$$

Pro řešení s volnou kladkou (Obr. 24):

$$M_b^{kl} = \frac{D_t}{2} G = r_o m_b g = 0,0465 * 1250 * 9,81 = 570,206 = 571 \text{ Nm}$$

*Čepové tření bylo zanedbáno, Tíhové zrychlení $g = 9,81 \text{ m*s}^{-2}$*

Z výpočtu lze vidět, že kladka zmenšuje požadovaný moment, který by musel elektromotor vyvodit ke zdvihu břemene – toto řešení snižuje osovou sílu v řetězu, zatížení ložisek pohonu a velikost společně s výkonem a váhou elektromotoru, což se také může projevit na výsledné ceně jeřábu.

Jelikož jsou u tohoto řešení uvažovány dva elektromotory, je zvolena varianta s volnou kladkou na úkor malého snížení světlé výšky jeřábu.

Otáčky ořechu:

$$\omega_o = 2\pi n_o \text{ [rad * s}^{-1}\text{]} \qquad v_h = r_o \omega_o = r_o * 2\pi n_o$$

$$n_o = \frac{v_h}{2\pi r_o} = \frac{\frac{10}{60}}{2 * \pi * 0,0465} = 0,570 \frac{\text{ot}}{\text{s}} = 34 \frac{\text{ot}}{\text{min}}$$

Byla zvolena rychlost zdvihu $v_h = 10 \text{ m/min}$

Minimální potřebný výkon:

$$M_b^{kl} = \frac{P_{min}}{2\pi n_o}$$

$$P_{min} = 2\pi n_o M_b^{kl} = 2\pi * 0,570 * 571 = 2044,99 \text{ W} = 2,1 \text{ kW}$$

Minimální výkon pro dosažení zdvihu jmenovitého břemene o rychlosti 10 m/min je 2,1 kW

6.5.1.1 Volba pohonu kladkostroje

Pro pohon kladkostroje musí být zvolen takový motor, který bude schopný vyvodit potřebný výkon pro zdvih břemene. Z katalogu výrobce SEW- EURODRIVE byl zvolen elektromotor blížící se požadovaným hodnotám.

Požadavky na vlastnosti elektromotoru poháněného ořechu:

Výstupní otáčky: 34 ot/min
Výstupní krouticí moment: 571 Nm
Výkon: 2,1 kW
Napětí motoru: 400 V
Frekvence: 50 Hz

Těmto požadavkům vyhovuje třífázový elektromotor s plochou převodovkou s označením FHZ67DRN100L4BE5/DI/KD1/TF dodávaný firmou SEW-EURODRIVE

Třída účinnosti: IE3 - prémiová
Výkon: 3kW
Výstupní otáčky: 34 ot/min
Krouticí moment: 840 Nm
Převodový poměr: 43,2
Provozní faktor: 0,95
Otáčky motoru: 1456 ot/min
Doba zapnutí: S1 (100%)
Frekvence: 50 Hz
Napětí motoru: 400 V
Hmotnost: 74 kg



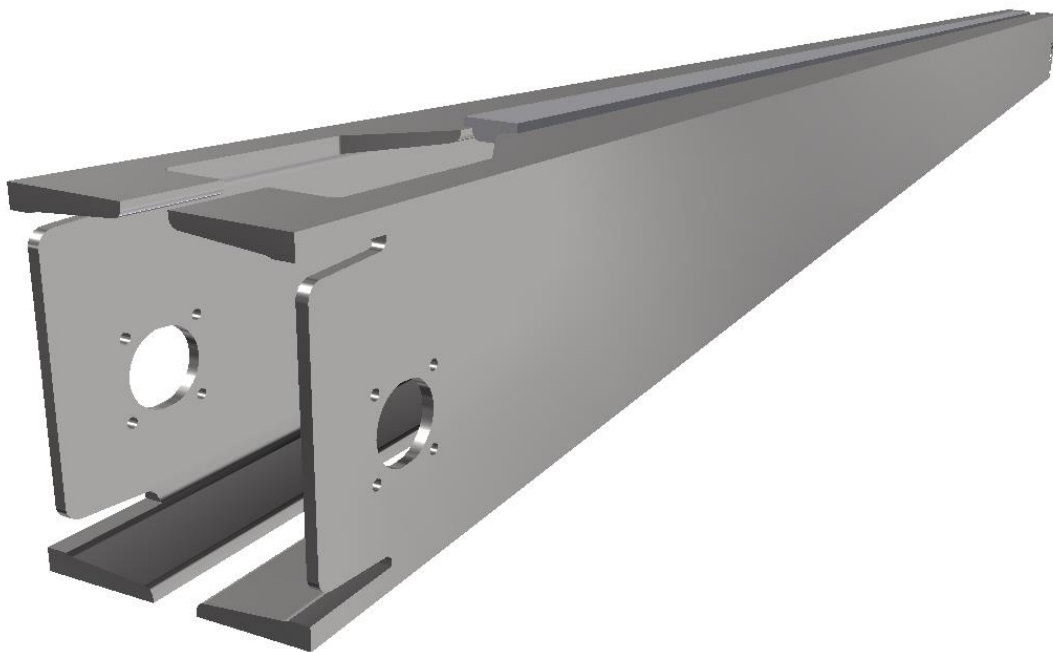
Obr. 27 Elektromotor s plochou převodovkou

Elektromotor je vybaven bezpečnostní a elektromagnetickou kotoučovou provozní brzdou, jenž je odbrzděována elektricky. Na neodbržděnou brzdu působí síly pružin, které vytváří brzdový moment.

Brzdový moment: 55 Nm
Brzdové napětí: 230 V

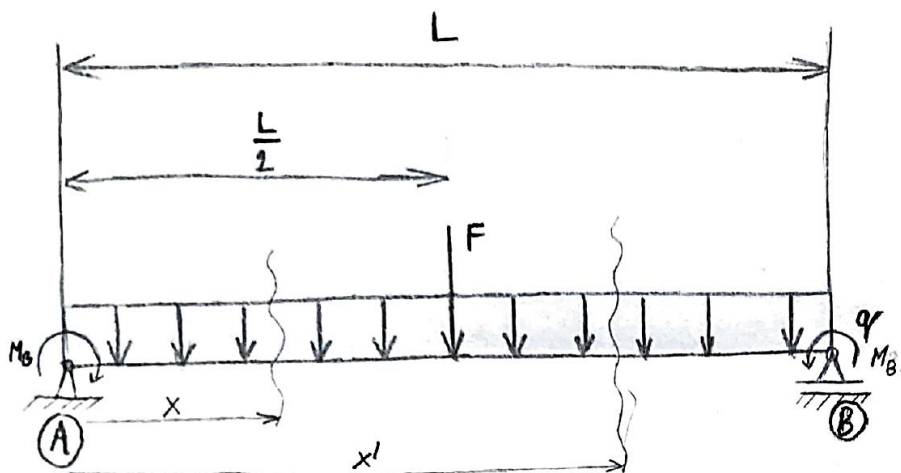
Takovýto brzdový moment je schopen udržet břemeno v požadované poloze, protože točivý moment vyvolaný břemenem je za převodovkou podstatně menší (cca 20 Nm).

6.5.2 Nosník (most)



Obr. 28 Model nosníku

Dále je řešen nosník na dvou podporách se silou umístěnou uprostřed při maximálním zatížení:



Obr. 29 Schéma modelu

Statické podmínky rovnováhy dle Schéma modelu (Obr. 29):

Složková podmínka rovnováhy:

$$R_A - F + R_B - qL = 0$$

Momentová podmínka rovnováhy:

$$\frac{1}{2}FL + \frac{1}{2}qL^2 - R_B L - M_b^{kl} + M_b^{kl} = 0$$

Reakce v podporách:

$$\boxed{R_B = \frac{1}{2}F + \frac{1}{2}qL}$$

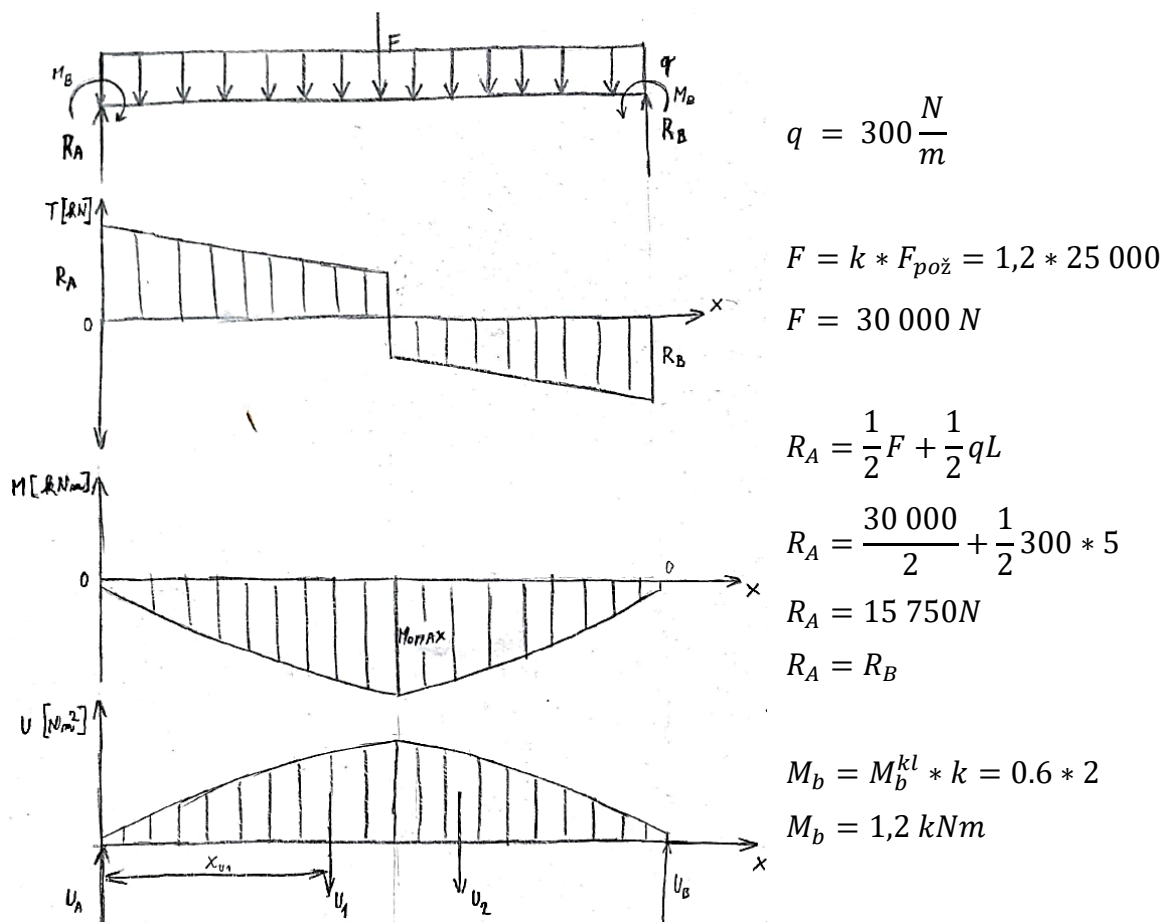
$$R_A = F + qL - \frac{1}{2}F - \frac{1}{2}qL \mapsto \boxed{R_A = \frac{1}{2}F + \frac{1}{2}qL}$$

Posouvající síly:

Interval I	Interval II
$T^I(x); x \in \langle 0; \frac{L}{2} \rangle$	$T^{II}(x'); x' \in \langle \frac{L}{2}; L \rangle$
$T^I(x) = R_A - qx$	$T^{II}(x') = R_A - qx' - F$
$T^I(0) = R_A$	$T^{II}(\frac{L}{2}) = R_A - \frac{1}{2}qL - F$
$T(\frac{L}{2}) = R_A - \frac{1}{2}qL$	$T(L) = R_A - qL - F$

Působící momenty:

Interval I	Interval II
$M^I(x); x \in \langle 0; \frac{L}{2} \rangle$	$M^{II}(x'); x' \in \langle \frac{1}{2}L; L \rangle$
$M^I(x) = R_A x - \frac{1}{2}qx^2 + M_b^{kl}$	$M^{II}(x') = R_A x' - \frac{1}{2}qx'^2 - F(x' - \frac{1}{2}L) + M_b^{kl}$
$M^I(0) = M_b$	$M^{II}(\frac{L}{2}) = \frac{1}{2}R_A L - \frac{1}{8}qL^2 - F(\frac{1}{2}L - \frac{1}{2}L) + M_b^{kl}$
$M^I(\frac{L}{2}) = \frac{1}{2}R_A L - \frac{1}{8}qL^2 + M_b^{kl}$	$M^{II}(L) = R_A L - \frac{1}{2}qL^2 - F(L - \frac{1}{2}L) + M_b^{kl}$



Obr. 30 Charakteristické posouvající síly a působící momenty spolu s fiktivním

Dimenzování nosníku:

Nosník bude namáhán převážně na ohyb:

$$\sigma_o = \frac{M_{Omax}}{W_o} \leq \sigma_{DO}$$

$$\sigma_{DO} = \frac{R_E}{k_m} = \frac{196}{2,5} = 78,4 \text{ MPa}; \text{ hodnota } R_E \text{ platí pro ocel } \check{C}SN \ 11 \ 375$$

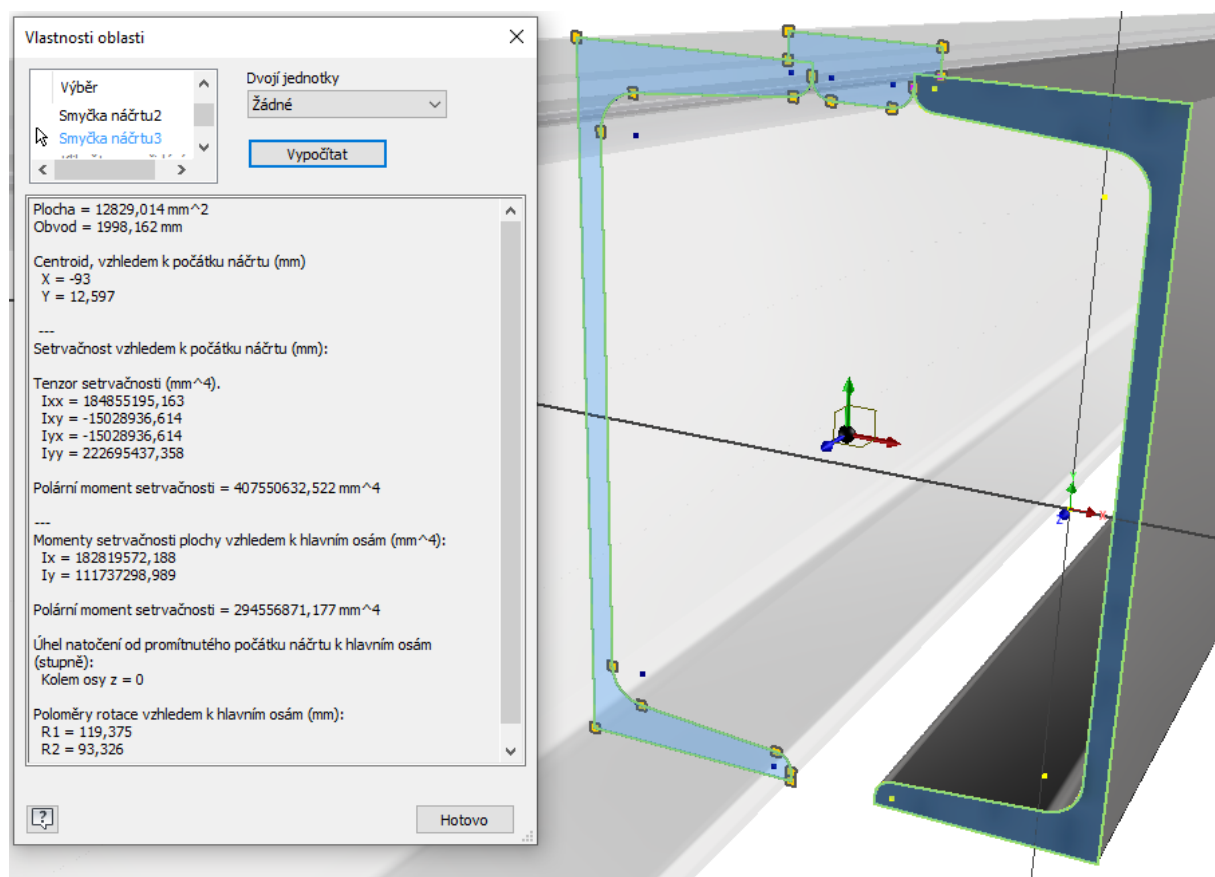
Požadovaný modul průřezu v ohybu:

$$W_o \geq \frac{M_{Omax}}{\sigma_{DO}} = \frac{39 \ 637}{78 \cdot 10^6} = 0,000 \ 508 \ 167 \ [m^3] = 508 \ 167 \ mm^3$$

(Osový) kvadratický moment průřezu pro navržený nosník:

$$I_x^{most} = 182 \ 819 \ 572 \ mm^4$$

hodnota převzata ze softwaru Autodesk Inventor Professional 2018 (Obr.31)



Obr. 31 Vlastnosti průřezu mostu dle softwaru Autodesk Inventor Professional 2018

Modul průřezu v ohybu navrženého mostu:

$$W_o^{most} = \frac{I_x^{most}}{e} = \frac{182 \ 819 \ 572}{160} = 1 \ 142 \ 622 \ mm^3$$

e = nejvzdálenější vlákno průřezu

Musí být splněna pevnostní podmínka pro ohyb:

$$W_o^{most} \succ W_o$$

$$1\,142\,622 \succ 508\,167$$

Vybraný průřez nosníku splňuje pevnostní požadavky

Můžeme říci, že dodatečná bezpečnost profilu je:

$$k_{profil} = \frac{W_o^{most}}{W_o} = \frac{1\,142\,622}{508\,167} = 2,25$$

Výpočet sil na fiktivním nosníku:

$$\begin{aligned} U_1 &= \int M^{\square}(x) dx = \int_0^{\frac{L}{2}} R_A x - \frac{1}{2} q x^2 + M_b dx = \left[\frac{1}{2} R_A x^2 - \frac{1}{6} q x^3 + M_b x \right]_0^{\frac{L}{2}} \\ &= \frac{1}{8} R_A L^2 - \frac{1}{48} q L^3 + \frac{M_b L}{2} = \frac{1}{8} 15\,750 * 5^2 - \frac{1}{48} 300 * 5^3 + 1\,200 * 2,5 = 51\,437,5 \text{ Nm}^2 \end{aligned}$$

$$U_1 = U_2 = 51\,437,5 \text{ Nm}^2$$

Poloha nositelky fiktivní síly U_1 :

$$\begin{aligned} U_1 x_{U_1} &= \int M^{\square}(x) x dx = \int_0^{\frac{L}{2}} R_A x^2 - \frac{1}{2} q x^3 + M_b x dx = \left[\frac{1}{3} R_A x^3 - \frac{1}{8} q x^4 + \frac{1}{2} M_b x^2 \right]_0^{\frac{L}{2}} \\ x_{U_1} &= \frac{\frac{1}{24} R_A L^3 - \frac{1}{128} q L^4 + \frac{1}{8} M_b L^2}{U_1} = \frac{\frac{1}{24} 15\,750 * 5^3 - \frac{1}{128} 300 * 5^4 + \frac{1}{8} 1200 * 5^2}{51\,437,5} = 1,639 \text{ m} \end{aligned}$$

Výpočet reakcí na fiktivním nosníku:

$$U_A 0 + U_B L - U_1 x_{U_1} - U_2 x_{U_2} = 0$$

$$U_B L = U_1 x_{U_1} + U_2 (L - x_{U_1}) = U_2 L$$

$$U_B = U_2$$

$$U_A = U_B = U_1 = U_2 = 51\,437,5 \text{ Nm}^2$$

Velikost momentu působícího v polovině nosníku:

$$M_y^{half} = U_A \frac{L}{2} - U_1 x_{U_1} = 51\,437,5 \frac{5}{2} - 51\,437,5 * 1,639 = 44\,287,688 \text{ Nm}^3$$

Průhyb v polovině nosníku:

$$y_{max} = \frac{M_y^{half}}{E^o I_x^{most}} = \frac{4,4287688 * 10^{13}}{2,1 * 10^5 * 182\,819\,572} = 1,15 \text{ mm}$$

Dovolený průhyb nosníku:

$$y_{DOV} = \frac{L}{500} = \frac{5000}{500} = 10 \text{ mm}$$

Musí být dodržena podmínka:

$$y \bar{<} y_{DOV}$$

$$1,15 \text{ mm} \bar{<} 10 \text{ mm}$$

6.5.3 Příčnick

6.5.3.1 Ohyb

Statické podmínky rovnováhy:

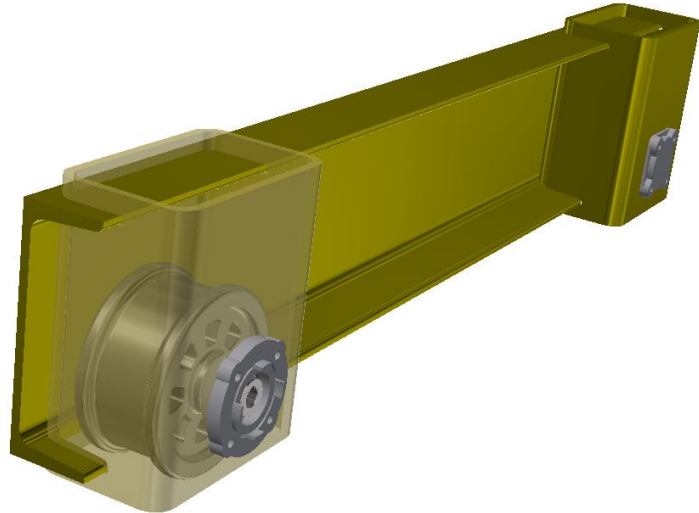
Složková podmínka rovnováhy:

$$R_D^{max} - R_A^{max} + R_E^{max} = 0$$

Momentová podmínka rovnováhy:

$$\frac{1}{2} l R_A^{max} - R_E^{max} l = 0$$

Reakce v podporách:



$$R_E^{max} = \frac{1}{2} R_A^{max}$$

Obr. 32 Model

$$R_D^{max} = R_A^{max} - \frac{1}{2} R_A^{max} \mapsto R_D^{max} = \frac{1}{2} R_A^{max}$$

Hodnoty R_A^{max} je dosaženo právě tehdy, když je kočka v krajní horizontální poloze mostu R_E^{max} a R_D^{max} jsou síly působící na kola příčnicku, Vlastní tíha nosníku byla zanedbána

Maximální ohybový moment:

$$M_{Omax}^{příčnick} = R_A^{max} * \frac{l}{2}$$

Maximální ohybový moment působí v polovině délky nosníku

$$\sigma_{DO} \geq \frac{M_{Omax}^{příčnick}}{W_o^{příčnick}} = \frac{25\,350 * \frac{1200}{2}}{371\,000} = \frac{15\,210\,000}{371\,000} = 41 \text{ MPa}$$

Pro ocel ČSN 11 375 je $\sigma_{DO} = 78,4 \text{ MPa}$

$$\sigma_{DO} \geq \sigma_o$$

Pevnostní podmínka pro napětí v ohybu byla splněna

6.5.4 Hřídel příčného pojezdu

Provozní otáčky hřídele:

$$n_{přp} = \frac{v_{přp}}{2\pi r_{kola}} = \frac{\frac{40}{60}}{2 * \pi * 0,1} = 1,06 \frac{ot}{s}$$

Byla zvolena rychlost příčného pojezdu $v_{přp} = 40 \text{ m/min}$

Smykové napětí působící na hřídel:

$$\tau_s^{přp} = \frac{F_{max}^{přp}}{S_{přp}} = \frac{\frac{R_D^{max}}{2}}{\frac{\pi * (D_{přp}^2 - d_{přp}^2)}{4}} = \frac{\frac{30350}{4}}{\frac{\pi * (45^2 - 20^2)}{4}} = 6 \text{ MPa}$$

Napětí v ohybu v místě s nejvyšším působícím ohybovým momentem:

$$\sigma_o^{přp} = \frac{M_o^{přp}}{W_o^{přp}} = \frac{\frac{R_D^{max} * o}{2}}{\frac{\pi * (D_{přp}^4 - d_{přp}^4)}{32 * D_{přp}}} = \frac{\frac{30350}{2} * 76}{\frac{\pi * (45^4 - 20^4)}{32 * 45}} = 133,7 \text{ MPa}$$

Hodnota o je vzdálenost od ložiska k působící síle,

Otlačení hřídele pod ložisky:

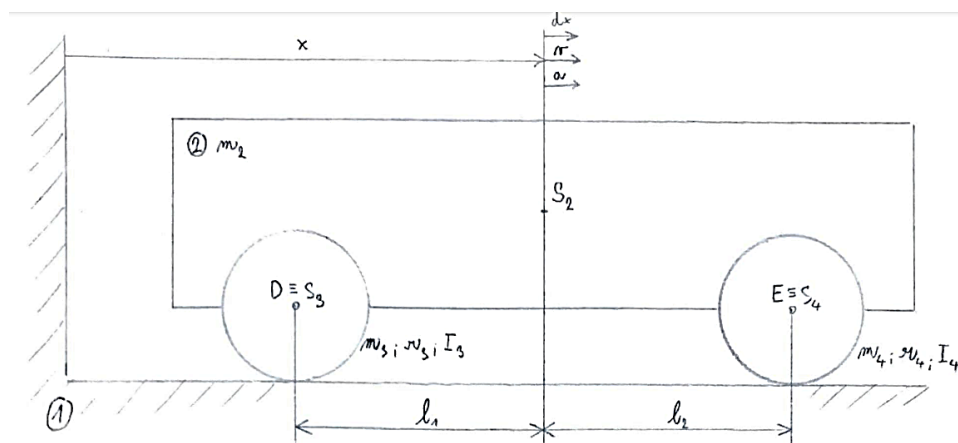
$$p_{přp} = \frac{\frac{R_D^{max}}{2}}{S_{přp}} = \frac{\frac{30350}{4}}{45 * 12} = 14 \text{ MPa}$$

Výpočet hnacího momentu hřídele:

Vyšetření pohybu soustavy těles bylo provedeno pomocí metody uvolňování s cílem zjistit hnací moment potřebný pro rozjezd jeřábu zrychlením $a = 0,25 \text{ m/s}^2$

Kinematické podmínky valení: $x = r\varphi \quad v = r\omega \quad a = r\alpha$

Při výpočtu nebyli uvažovány pasivní účinky

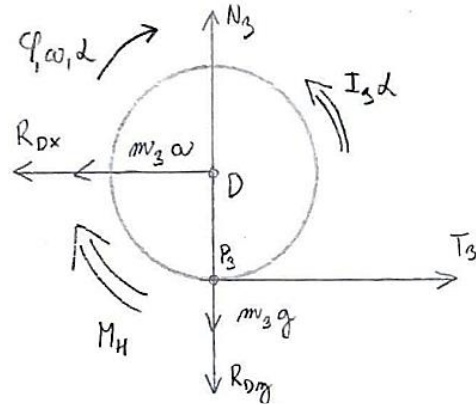


Obr. 34 Schéma úlohy

Uvolnění těles - Podmínky dynamické rovnováhy těles:

PDR tělesa 2 (příčnicku):

$$R_{Dx} - R_{Ex} - m_2 a = 0$$

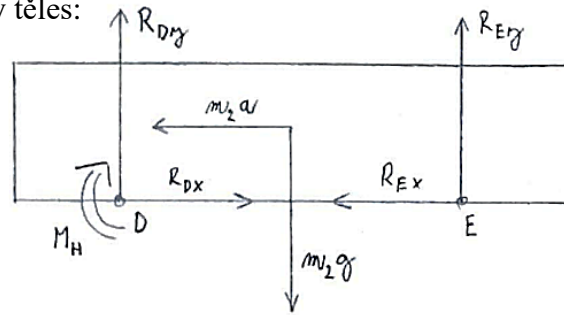


Obr. 36 Uvolněné hnací kolo

PDR tělesa 3 (hnacího kola):

$$m_3 ar + I_3 \alpha + R_{Dx} r - M_h = 0$$

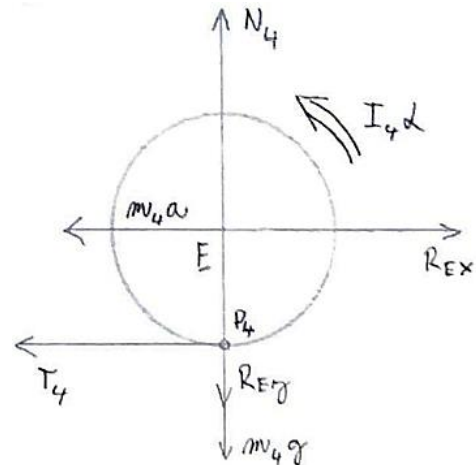
$$\rightarrow R_{Dx} = \frac{M_h}{r} - I_3 \frac{\alpha}{r} - m_3 a$$



Obr. 35 Uvolněný příčnick

PDR tělesa 4 (hnaného kola):

$$m_4 ar + I_4 \alpha - R_{Ex} r = 0 \rightarrow R_{Ex} = m_4 a + I_4 \frac{\alpha}{r}$$



Obr. 37 Uvolněné kolo

Řešení soustav algebraických rovnic:

$$\frac{M_h}{r} - I_3 \frac{a}{r^2} - m_3 a - m_4 a + I_4 \frac{a}{r^2} - m_2 a = 0$$

$$M_h = ra \left(m_2 + m_3 + m_4 + \frac{I_3}{r^2} + \frac{I_4}{r^2} \right) = 0,09 * 0,25 \left(1665 + 15 + 15 + \frac{78180}{90^2} + \frac{78180}{90^2} \right)$$

Hodnoty polárních momentů setrvačnosti byly převzaty z programu Autodesk Inventor Professional 2018

$$M_h = 38,58 \text{ Nm} = 40 \text{ Nm}$$

Minimální potřebný výkon:

$$M_h = \frac{P_{min}}{2\pi n} \Rightarrow P_{min}^{přp} = 2\pi n_{přp} M_h = 2\pi * 1,06 * 40 = 266,4 \text{ W} = 0,3 \text{ kW}$$

Napětí v krutu a bezpečnost:

$$\tau_k^{přp} = \frac{M_h}{W_k^{přp}} = \frac{16 D_{přp} * M_h}{\pi * (D_{přp}^4 - d_{přp}^4)} = \frac{16 * 45 * 40\,000}{\pi * (45^4 - 20^4)} = 2,26 \text{ MPa}$$

$$k_{přp} = \frac{\sigma_D}{\sigma_{red}^{přp}} = \frac{0,5 * R_E}{\sqrt{(\sigma_{red}^{přp} + \sigma_t)^2 + 4\tau_k^{přp^2}}} = \frac{250}{\sqrt{133,7^2 + 4 * 2,26^2}} = 1,86$$

6.5.4.1 Volba pohonu příčného pojezdu

Požadavky na vlastnosti pohonu příčného pojezdu:

Výstupní otáčky: 63,6 ot/min

Výstupní kroutící moment: 40 Nm

Výkon: 0,3 Kw

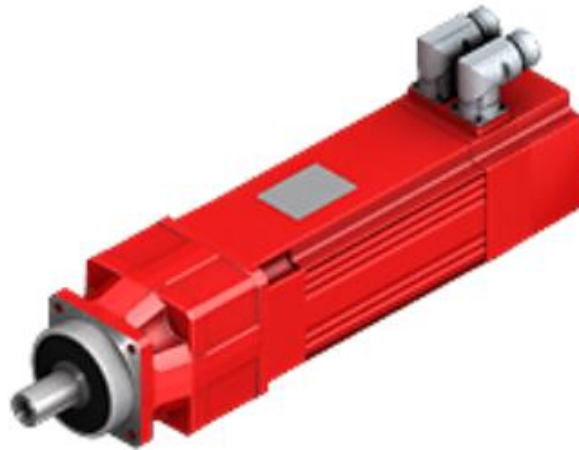
Pro pohon příčného pojezdu byl zvolen synchronní servomotor s planetovou převodovkou od firmy SEW-Eurodrive:

Označení: PSKCZ322CMP50S/BK/DI/PK/EZ2Z/SD1

Výstupní otáčky: 60 o/min

Max výstupní moment: 66 Nm

Osazen brzdou – Brzdný moment až 2,4 Nm



Obr. 38 Servomotor s planetovou převodovkou

6.5.5 Valivá ložiska příčného pojezdu

Byla použita radiální ložiska z důvodu možného příčení mostu, které by mohlo vyvolat akční silové účinky působící od kolejnice přes kolo na hřídel, která je ložisky osazena. Toto příčení by ale mělo být zanedbatelné, protože na obou stranách mostu je příčník vybaven poháněným kolem.

Statické ekvivalentní zatížení:

$$F_r = R_E = \boxed{R_D = \frac{1}{2} R_A} = 7875 \text{ N}$$

Reakce R_E bude na hřídel přenesena pomocí dvou ložisek. Můžeme říci, že na jedno ložisko působí radiální síla o velikosti 3937,5 N od hmotnosti zatíženého jeřábu. Pro tuto úlohu jsou z hlediska bezpečnosti předpokládány malé axiální síly o velikosti $0,2 \cdot F_r$ N.

$$F_e = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a$$

Pro jednořadá kuličková ložiska s kosoúhlým stykem jsou součinitele dle ISO 76:

$$e = 0,68; \frac{F_a}{F_r} = \frac{3937,5 \cdot 0,2}{3937,5} = 0,2 \mapsto e > \frac{F_a}{F_r} \mapsto X_0 = 1; Y_0 = 0$$

$$F_e = 1 \cdot (3937,5) + 0 \cdot (0,2 \cdot 3937,5) = 3937,5$$

Statická únosnost dle obsahového centra pro ložisko B 71909 – 45x68x12 ČSN 02 4645:

$$C = 15,6 \text{ kN}$$

Statická bezpečnost:

$$s = \frac{C}{F_e} = \frac{15\,600}{3937,5} = 3,96$$

Základní trvanlivost v hodinách:

$$L_h = \frac{10^6}{3600 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{F_e}\right)^3 = \frac{10^6}{3600 \cdot 1,06} \cdot \left(\frac{15\,600}{3937,5}\right)^3 = 16\,296,85 \text{ hod}$$

Základní trvanlivost v hodinách při maximálním zatížení ložisek.

$$L_h^{max} = \frac{10^6}{3600 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{F_e}\right)^3 = \frac{10^6}{3600 \cdot 1,06} \cdot \left(\frac{15\,600}{6338}\right)^3 = 2261,87 \text{ hod}$$

(kdyby byla plně naložená kočka po celou dobu trvanlivosti pouze při jednom kraji jeřábu)

Dle katalogu SKF je doporučená trvanlivost v hodinách u ložisek pro stroje s vysokou spolehlivostí pro krátkodobý nebo přerušovaný provoz, mimo jiné jeřáby 8 000 až 12 000 hodin [12]

6.5.6 Hřídel pohonu

Napětí v ohybu v místě s nejvyšším působícím ohybovým momentem:

$$\sigma_o^{poh} = \frac{M_o^{poh}}{W_o^{poh}} = \frac{0,5 * G * w}{\frac{\pi * d_{hřid}^3}{32}} = \frac{1250 * 9,81 * 100}{\frac{\pi * 51^3}{32}} = 94,160 \text{ MPa}$$

Smykové napětí působící na hřídel:

$$\tau_s^{poh} = \frac{F_{poh}}{S_{poh}} = \frac{F_{poh}}{\frac{\pi * d_{hřid}^2}{4}} = \frac{1250 * 9,81}{\frac{\pi * 51^2}{4}} = 6 \text{ MPa}$$



Obr. 39 Model hřídele pohonu

Napětí v krutu - ořech:

$$\tau_k^{poh} = \frac{M_b^{kl}}{W_k^{poh}} = \frac{16M_b^{kl}}{\pi * d_{hřid}^3} = \frac{16 * 1250 * 9,81 * 46,5}{\pi * 51^3} = 21,89 \text{ MPa}$$

Redukované napětí:

$$\sigma_{red}^{poh} = \sqrt{(\sigma_o^{poh} + \sigma_t)^2 + 4\tau_k^{poh2}} = \sqrt{(94,160)^2 + 4 * 21,89^2} = 103,840 \text{ MPa}$$

Bezpečnost:

$$k_{poh} = \frac{\sigma_D}{\sigma_{red}^{poh}} = \frac{0,5 * R_E}{\sigma_{red}^{poh}} = \frac{250}{103,840} = 2,4$$

R_e pro ocel ČSN 12 061 = 500 MPa

6.5.7 Kluzná ložiska pohonu

Dle ČSN 13001-3-4 je návrhový tlak na přírubové kluzné ložisko pro radiální a axiální sílu:

$$p_r = \frac{F_r}{d_{hřid} * L_{ef}} = \frac{1250 * 9,81}{55 * 40} = 5,57 \text{ MPa}$$

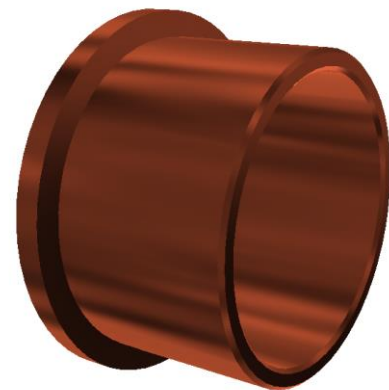
$$p_a = \frac{F_a}{0,04 * (D_{ex}^2 - d_{hřid}^2)} \leq p_D$$

Jelikož není předpokládáno vyšší působení axiální síly, je vypočtena pouze maximální přípustná síla, která může v tomto směru působit.

$$F_a^{max} \leq 0,04p_d * (D_{ex}^2 - d_{hřid}^2) = 0,04 * 45 * (60^2 - 55^2) = 1035 \text{ N}$$

Vypočítaný návrhový tlak se porovnává s návrhovým tlakem únosnosti kluzného ložiska, který je udáván výrobcem ložiska. Tento tlak se liší podle materiálu kluzného ložiska a pohybuje se v rozmezí 20 ÷ 250 MPa. Tato únosnost platí při dodržení mezních pracovních teplot materiálu, jenž se opět v závislosti na materiálu pohybuje od 90°C do 250°C.

Pro řešení případ bylo uvažováno bronzové ložisko s únosností 45 MPa s mezní pracovní teplotou 150°C. Tyto hodnoty jsou převzaty z tabulky č. 8 v dokumentu ČSN 13001-3-4.

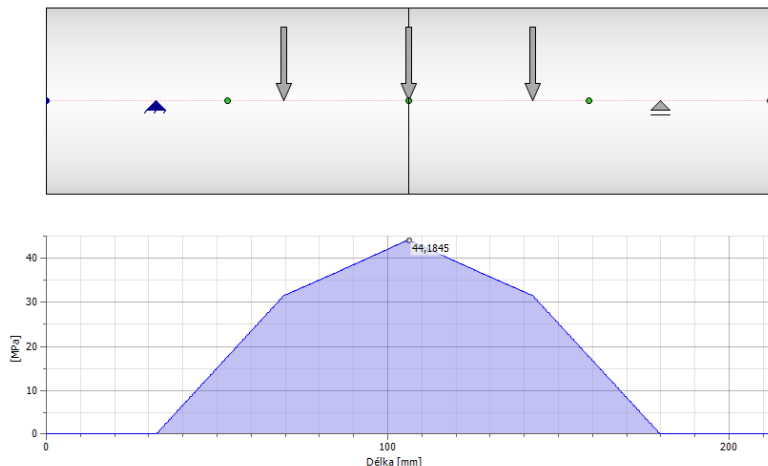


Obr. 40 Model kluzného ložiska

6.5.8 Hřídel kočky

Hřídel kočky byla navržena pomocí generátoru hřídelí v programu Autodesk Inventor Professional 2018.

Napětí v ohybu:

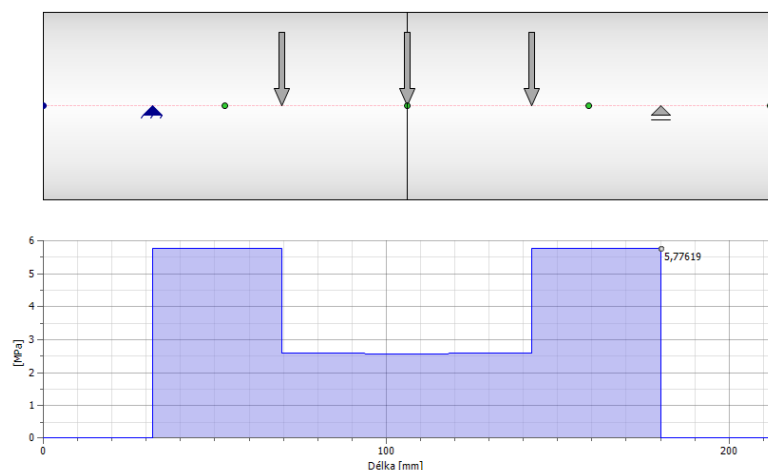


Obr. 42 Graf napětí v ohybu



Obr. 41 Model hřídele

Smykové napětí:



Obr. 43 Graf smykového napětí

Z grafů (Obr. 42; 43) můžeme určit maximum napětí v ohybu (44,2 MPa) a smykového napětí (5,8 MPa) pro navrženou hřídel o průměru 55 mm na kterou působí přenesené zatížení od ořechu a ložisek táhla.

Na dvojici ložisek táhla působí výslednice sil složená ze složek od řetězu nesoucího volnou kladku a od řetězu, který udržuje kočku v rovnovážné poloze nebo zajišťuje její pojezd.

Výsledná síla:

$$F_v = \sqrt{\frac{G^2}{2} + \frac{G^2}{2}} = \sqrt{\frac{24\,525^2}{2} + \frac{24\,525^2}{2}} = 17\,341\, N$$

Na dvojici ložisek kol kočky pak působí jen tíha síla od břemene G.

6.5.9 Valivá ložiska kočky - táhlo

Statické ekvivalentní zatížení:

$$F_e = \frac{F_v}{2} = \frac{17\,341}{2} = 8671\,N$$

Statická únosnost dle obsahového centra pro ložisko B 71911 ČSN 02 4645:

$$C = 26\,kN$$

Statická bezpečnost:

$$s = \frac{C}{F_e} = \frac{26\,000}{8671} = 3$$

Základní trvanlivost v hodinách:

$$L_h = \frac{10^6}{3600 * n} * \left(\frac{C}{F_e}\right)^3 = \frac{10^6}{3600 * 0,570} * \left(\frac{26\,000}{8671}\right)^3 = 13\,138\,hod$$

6.5.10 Valivá ložiska kočky - kola

Statické ekvivalentní zatížení:

$$F_e = \frac{G}{2} = \frac{2500 * 9,81}{2} = 12\,262\,N$$

Statická únosnost dle obsahového centra pro ložisko SKF 7211 BE ČSN 02 4645:

$$C = 38\,kN$$

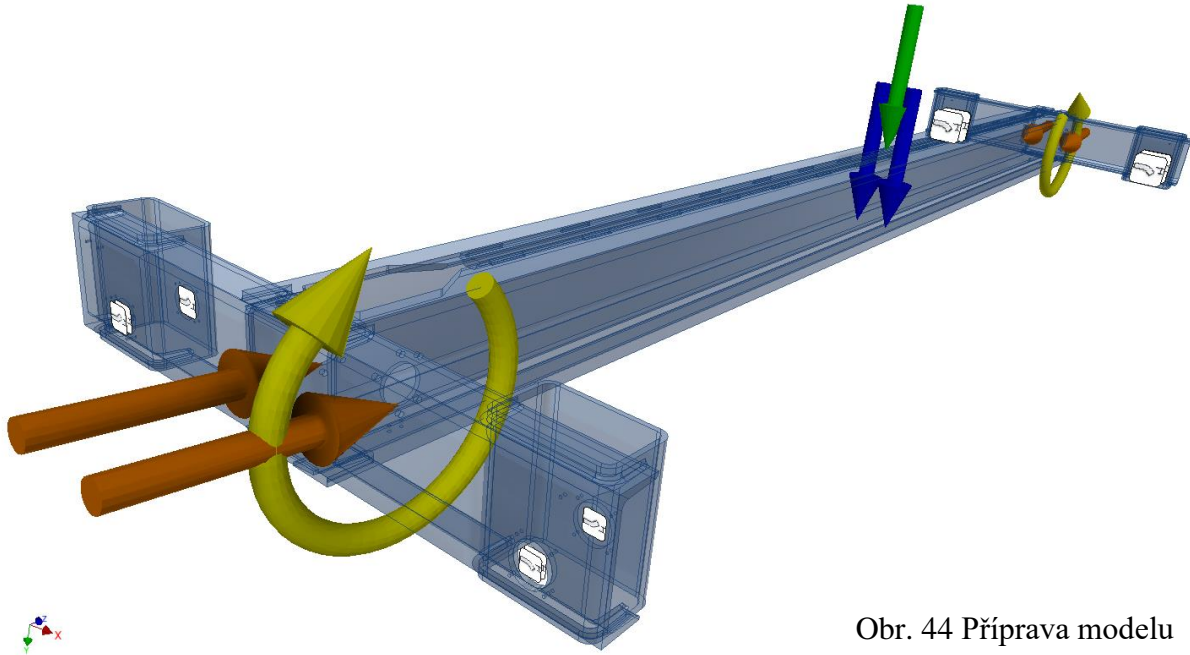
Statická bezpečnost:

$$s = \frac{C}{F_e} = \frac{38\,000}{12\,262} = 3,1$$

Základní trvanlivost v hodinách:

$$L_h = \frac{10^6}{3600 * n} * \left(\frac{C}{F_e}\right)^3 = \frac{10^6}{3600 * 0,570} * \left(\frac{38\,000}{12\,262}\right)^3 = 14\,504\,hod$$

6.6 Kontrola pomoci MKP



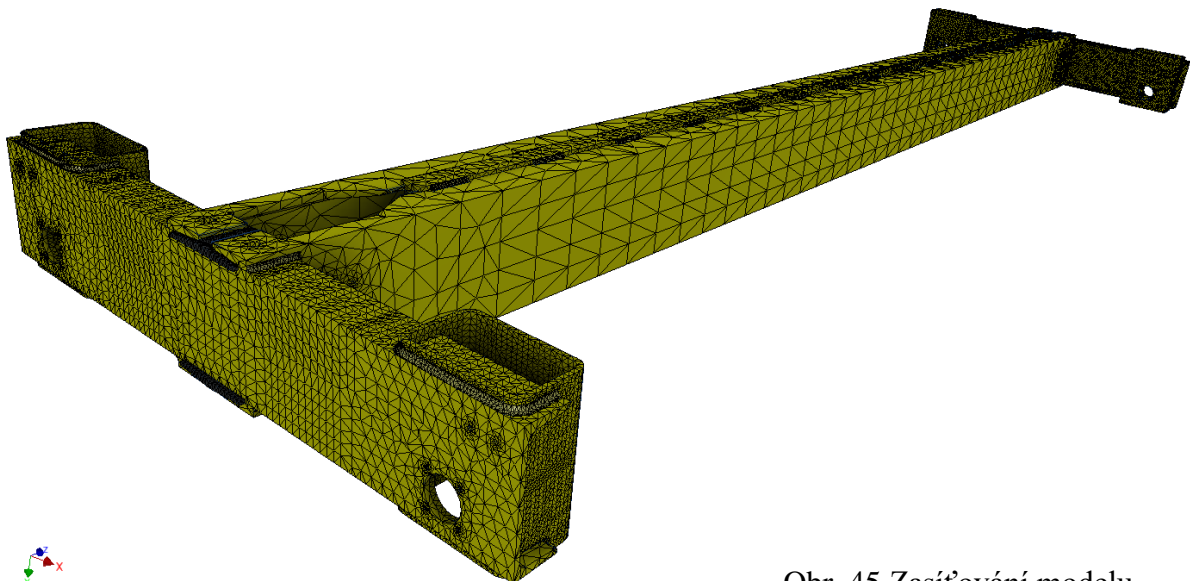
Obr. 44 Příprava modelu

6.6.1 Příprava modelu

Dle zadání byla provedena kontrola klíčového prvku vypracovaného konstrukčního řešení. Kontrolovanému modelu byla přiřazena odpovídající předpokládaná zatížení. Jednotlivá zatížení jsou barevně označeny:

- Modrá barva – síla od břemene – 30 000 N
- Žlutá barva – proti-moment působící od elektromotoru – 1,2 kNm
- Oranžová barva – zatížení ložisek (primárně od řetězu)
 - F_Y 500 N – váha od sestavy pohonu a elektromotoru
 - F_Z 6 132 N – zatížení od řetězu
- Zelená barva – gravitační silové zatížení, $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

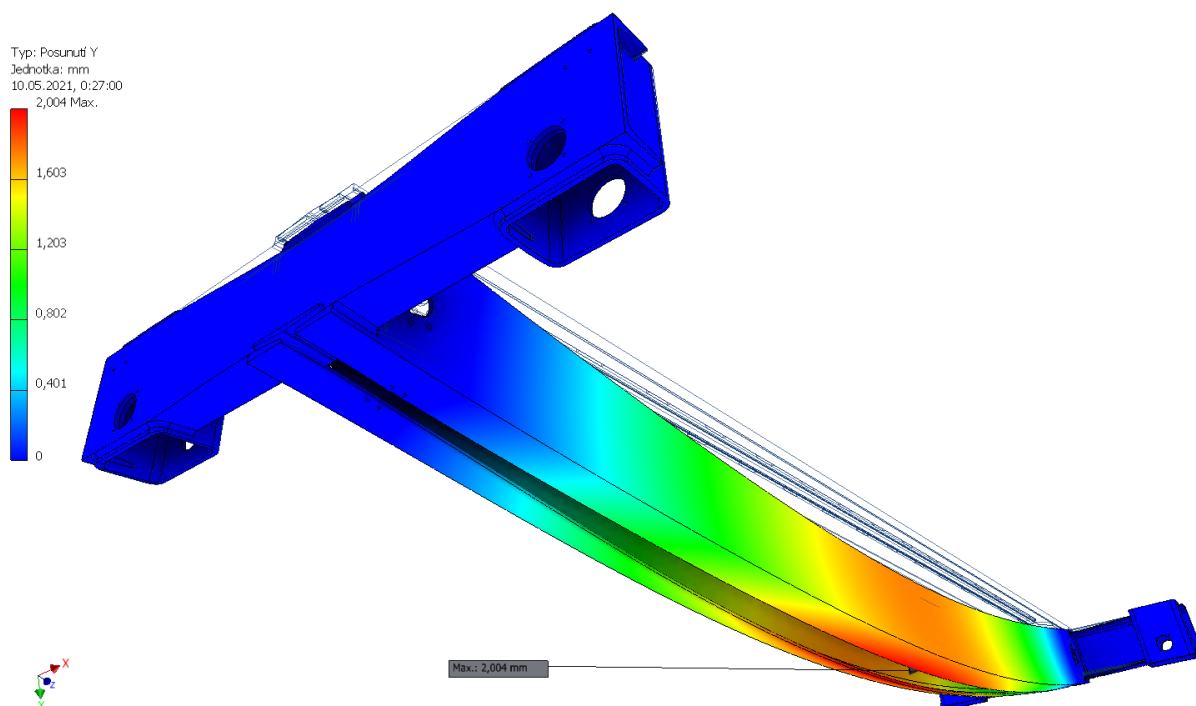
V ložiskách příčnicku jsou umístěny pevné vazby, jenž omezují pohyb ve všech směrech.



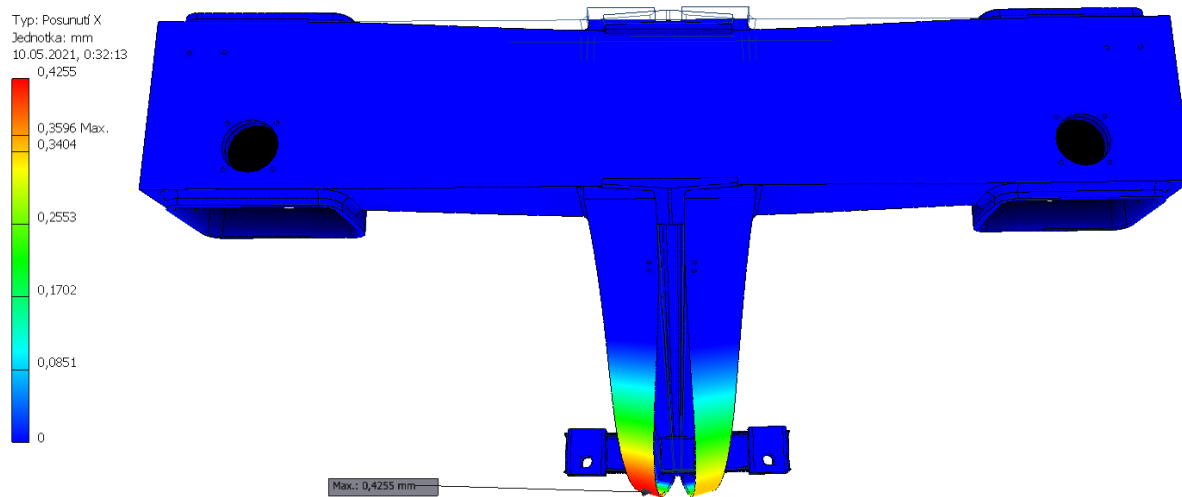
Obr. 45 Zasiťování modelu

6.6.2 Výsledky pevnostní analýzy

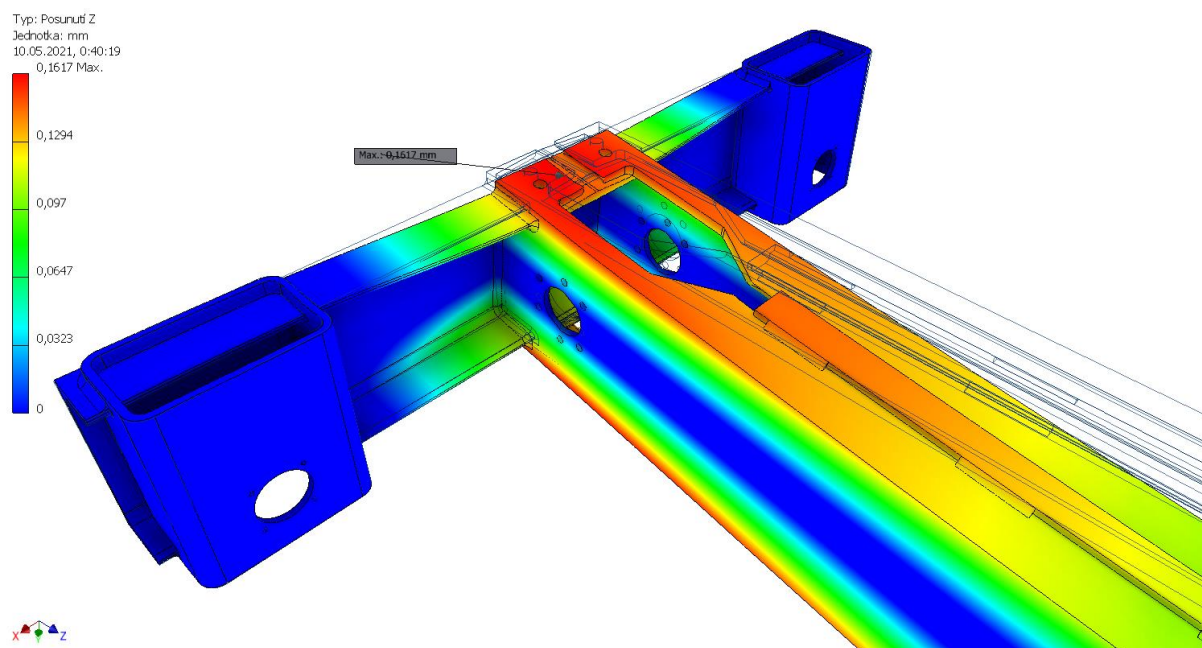
6.6.2.1 Statická analýza - Průhyb a rozevření nosníku



Obr. 46 Průhyb modelu ve směru osy y

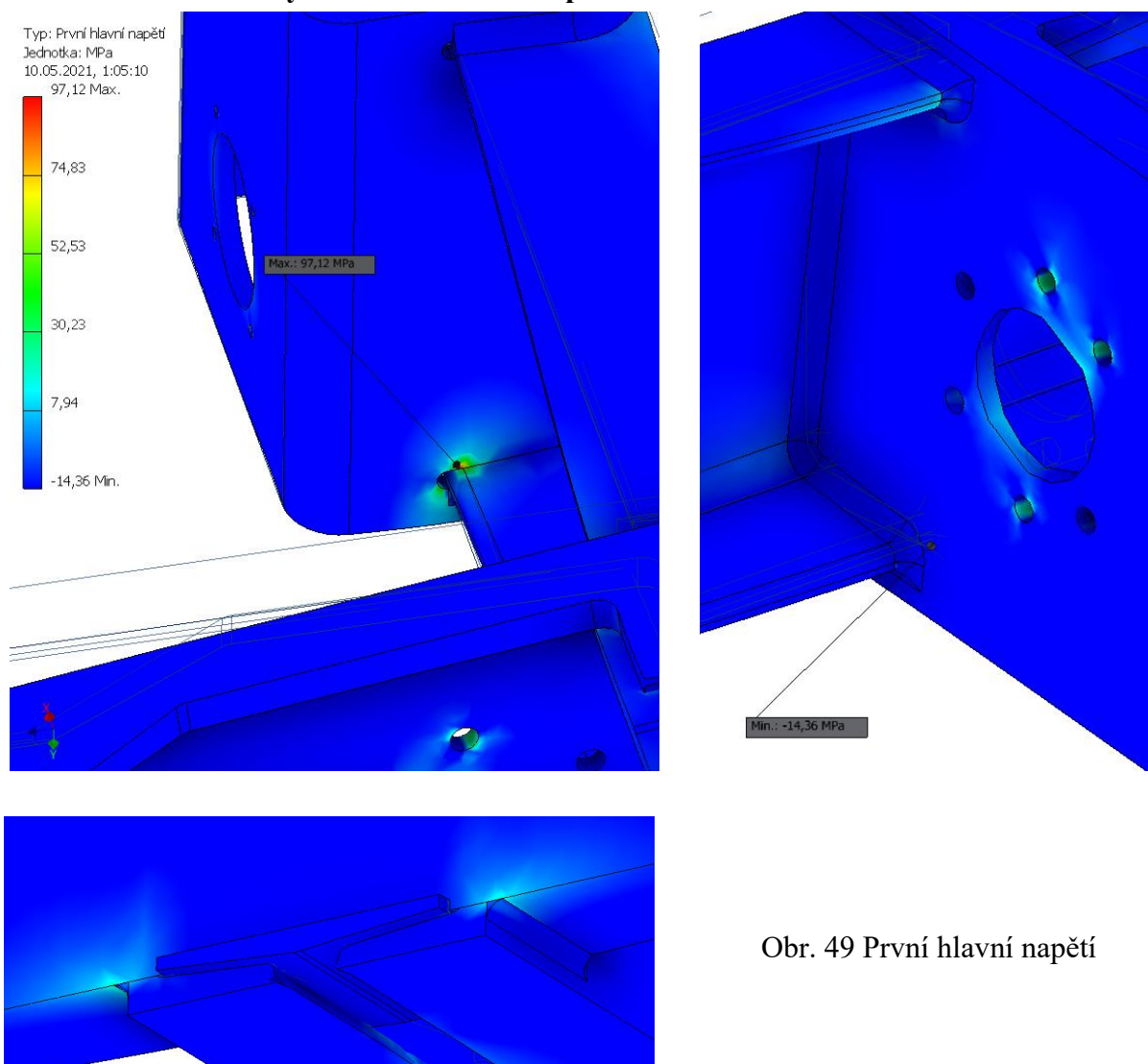


Obr. 47 Posunutí modelu ve směru osy x



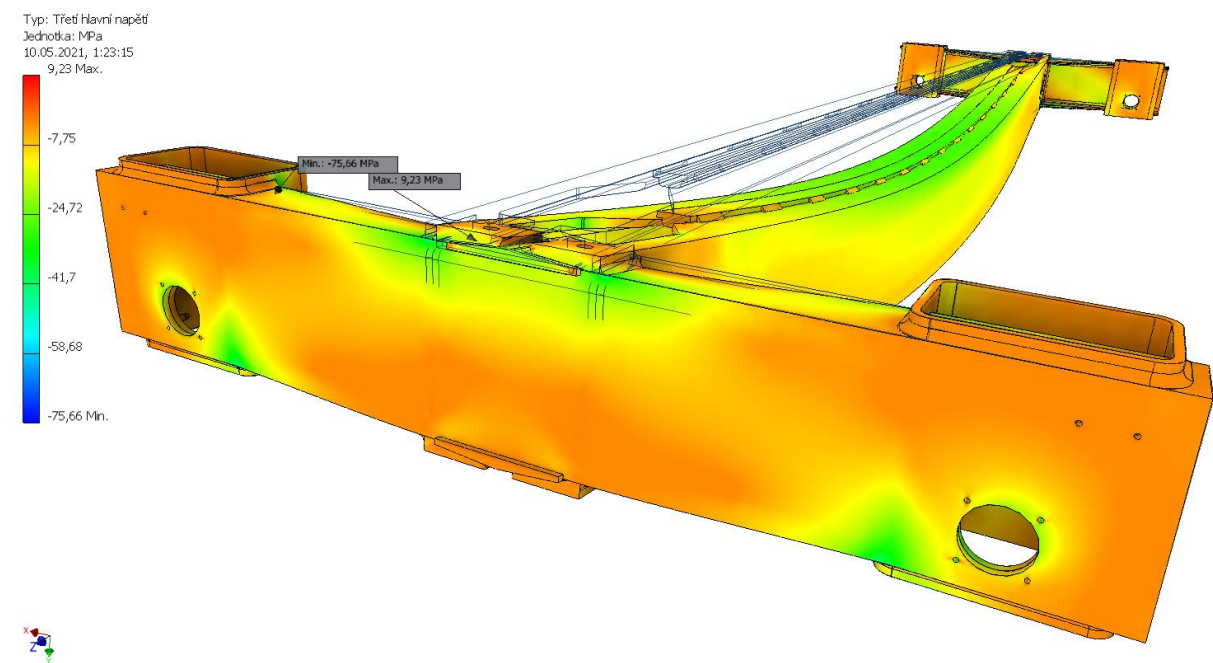
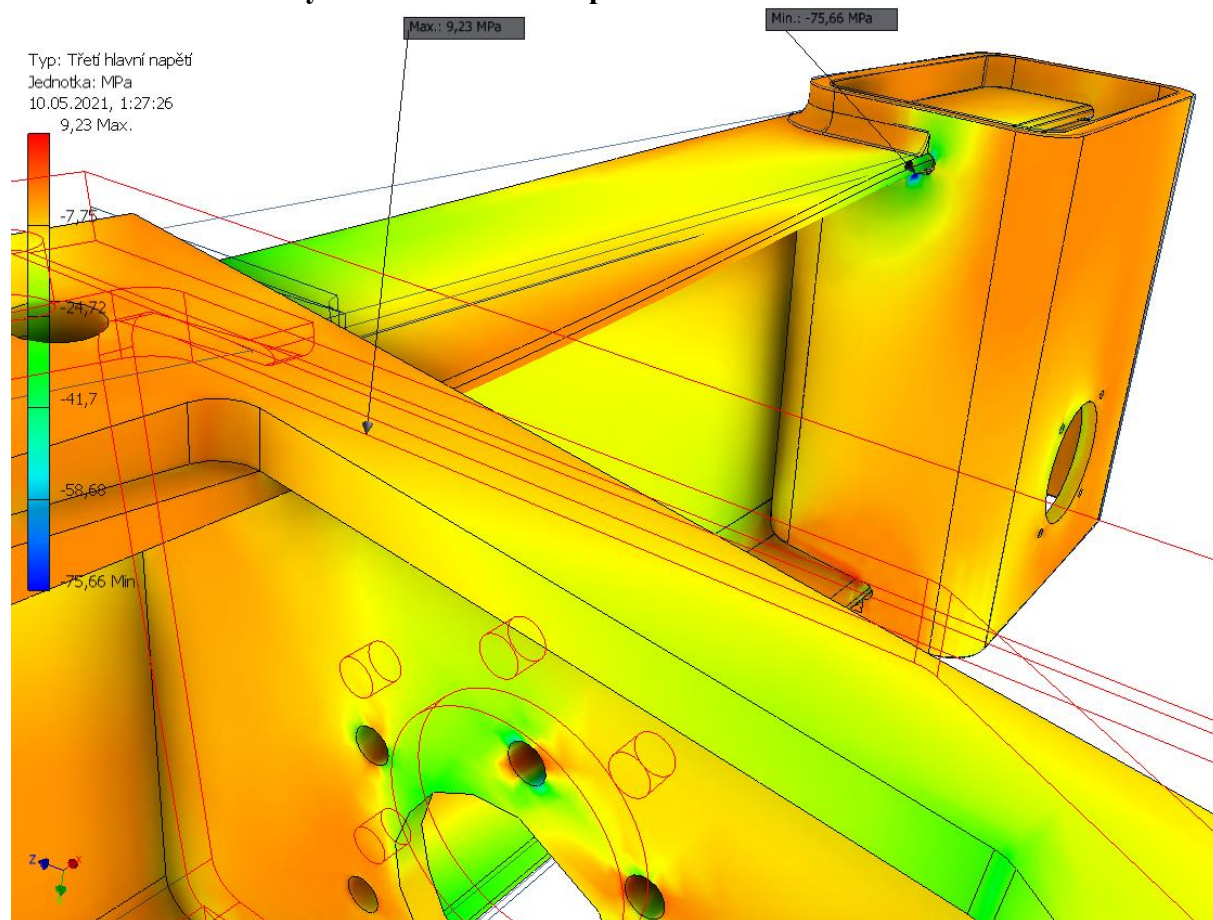
Obr. 48 Posunutí modelu ve směru osy Z

6.6.2.2 Statická analýza – První hlavní napětí



Obr. 49 První hlavní napětí

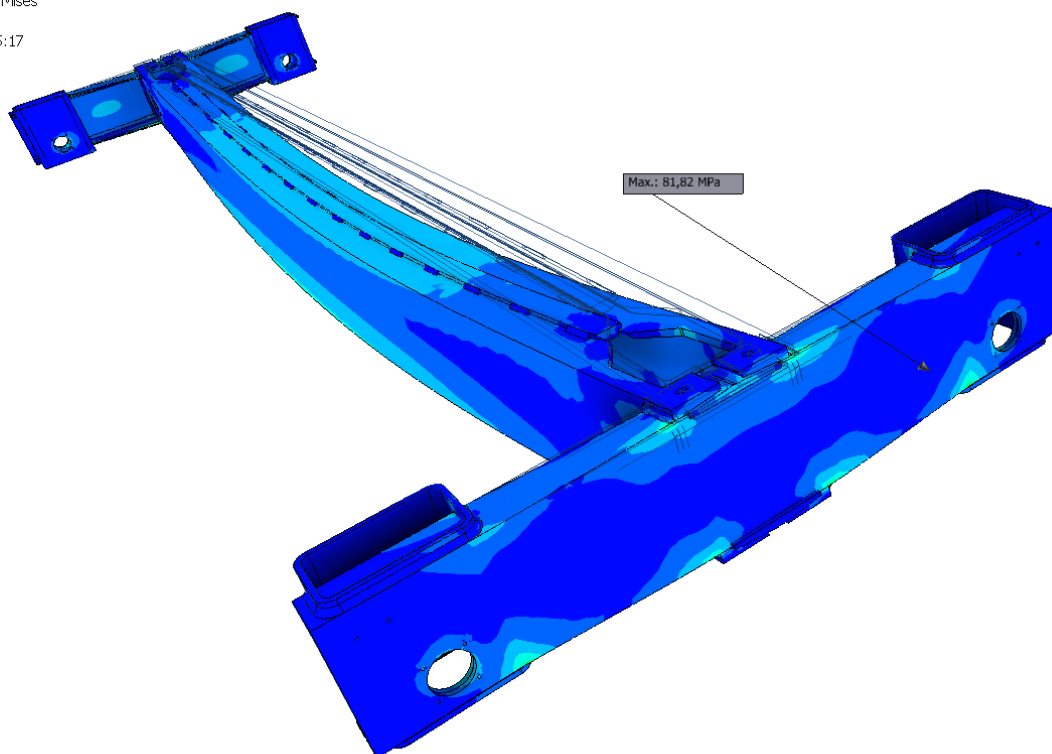
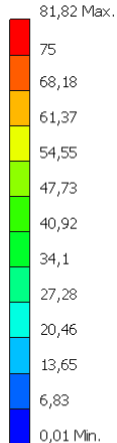
6.6.2.3 Statická analýza – Třetí hlavní napětí



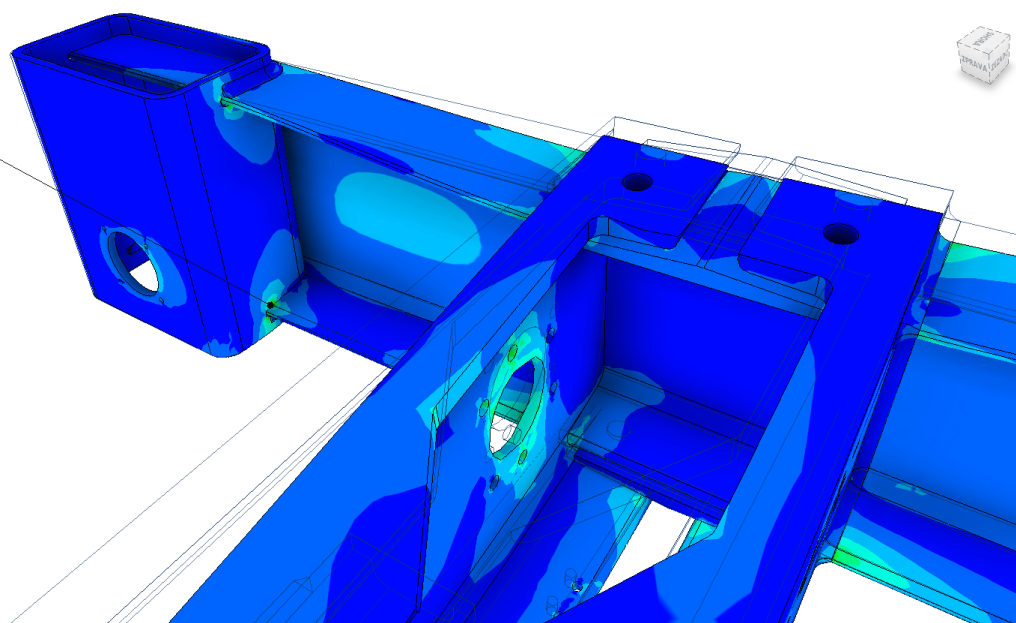
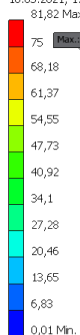
Obr. 50 Třetí hlavní napětí

6.6.2.4 Statická analýza – Napětí Von Mises

Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
10.05.2021, 1:35:17

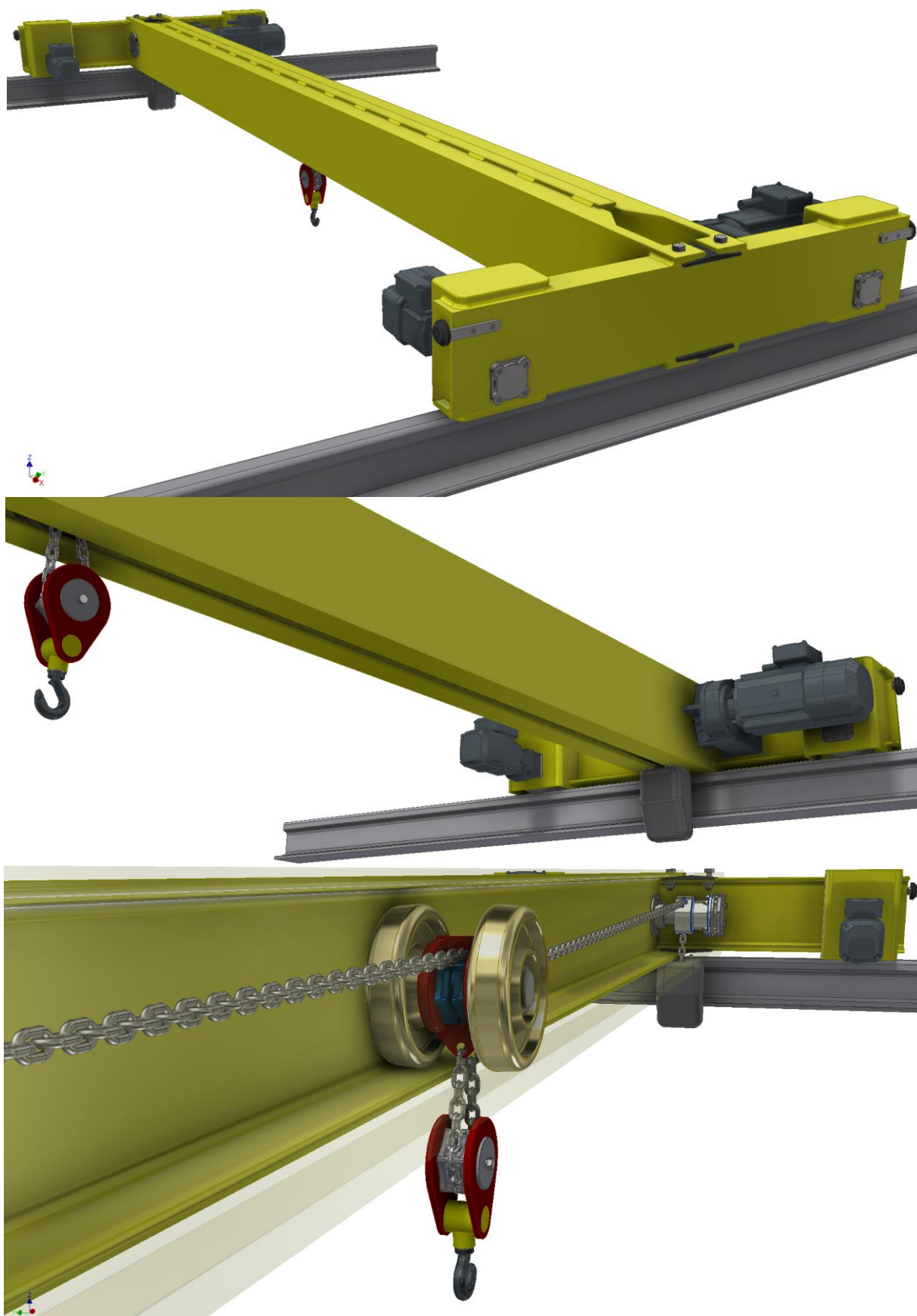


Typ: Napětí Von Mises
Jednotka: MPa
10.05.2021, 1:29:58

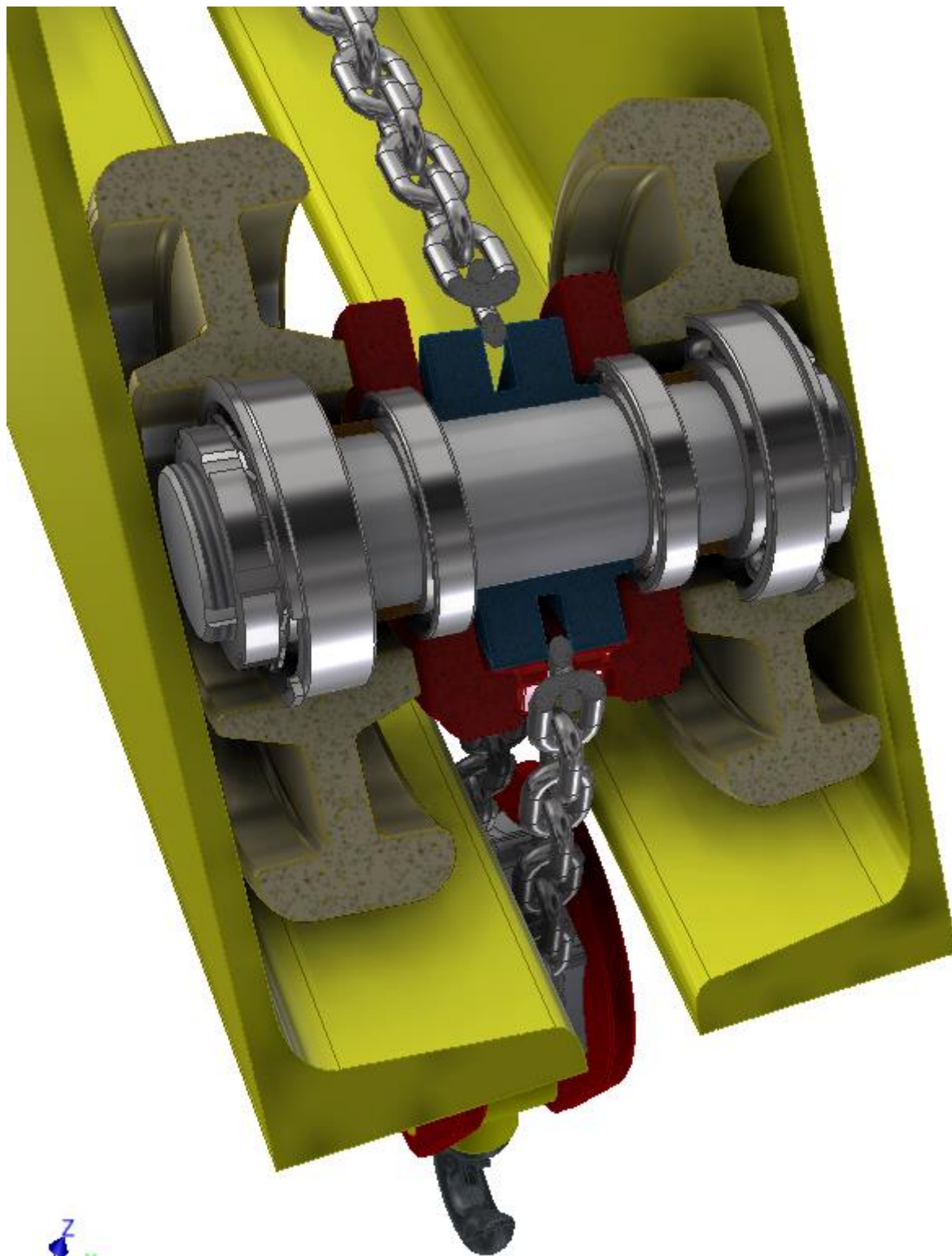


Obr. 51 Napětí Von Mises

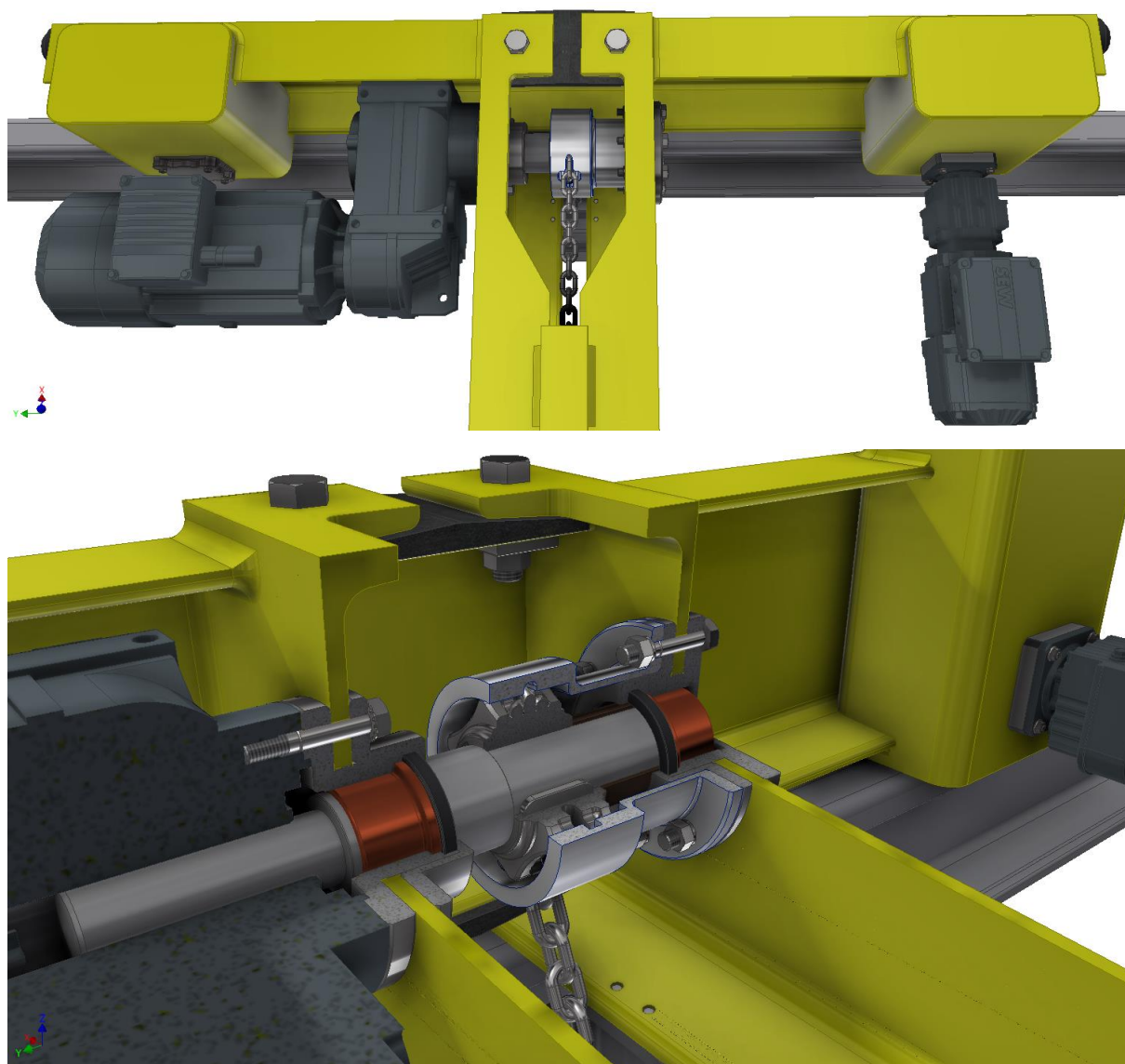
6.7 Definitivní stavební struktura



Obr. 52 Definitivní stavební struktura jeřábu



Obr. 53 Definitivní stavební struktura kočky a háku



Obr. 54 Definitivní stavební struktura pohonu

6.7.1 Seznam nakupovaných komponent

Aby bylo konstrukční provedení co možná ekonomicky nejvhodnější, byli k zakoupení zvoleny následující normalizované komponenty:

Tab. 4 Seznam nakupovaných komponent

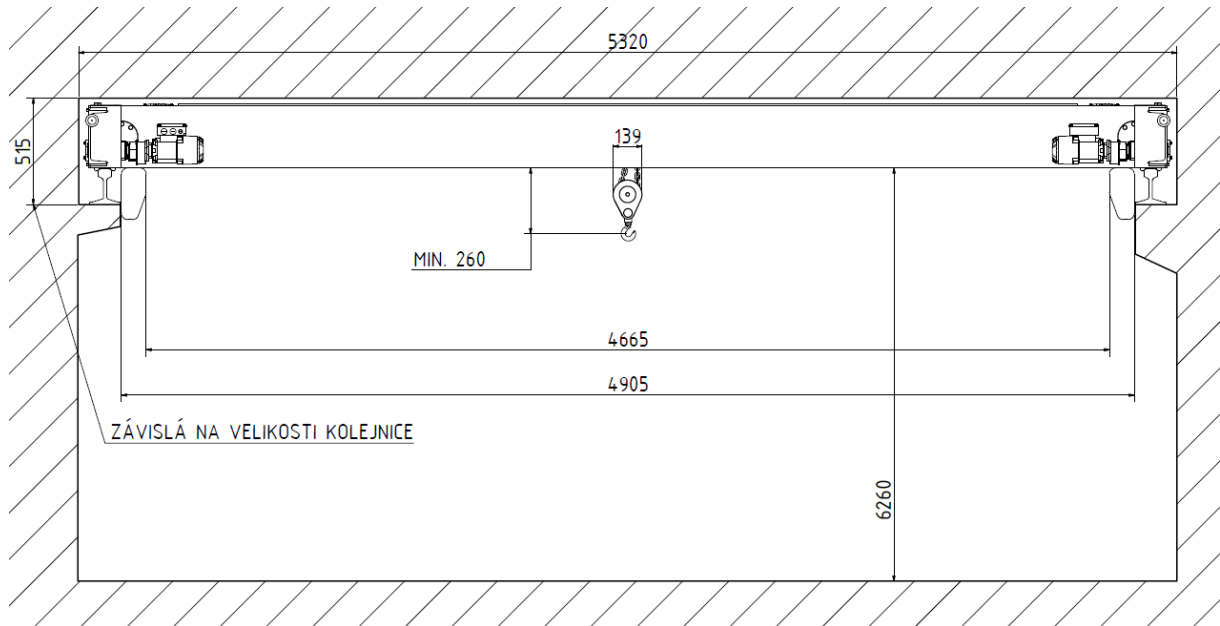
Součást	Označení	Norma	Počet
Ořech	PEWAG – TR 8/6 GS 52E pro řetěz HEO-chain WN G100 8x24 bf, počet zubů z = 6 vrtání náboje = 55H7 s drážkou pro 3 těsná pera dle ČSN 02 2562, provedení C		4
Řetěz	PEWAG – 8x24 bf G100		26 m
Elektromotory	SEW – Eurodrive: PSKCZ322CMP50S/BK/DI/PK/EZ2Z/SD1 SEW – Eurodrive: FHZ67DRN100L4BE5/DI/KD1/TF		2 2
U – profily	TYČ U – 260 – 1500 TYČ U – 300 – 5225	ČSN 42 5570 ČSN 42 5570	3 m 10,5 m
Obdélníkové profily	DUTÝ PROFIL – 250x150x10	ISO 10 799-2	1,2 m
Šrouby	M6 x 8 M6 x 32 M6 x 40 M6 x 42 M8 x 22 M12 x 65 M12 x 30 M20 x 65	ČSN EN ISO 2010 ČSN 02 1201 ČSN 02 1201 ČSN 02 1201 ČSN 02 1201 ČSN 02 1111 ČSN 02 1201 ČSN 02 1111	8 8 8 16 8 24 2 4
Břítová těsnění	G 50x68x8 – NBR G60x80x8 – NBR	ČSN 02 9401 G ČSN 02 9401 G	8 2
Ložiska	A 7010 B 71909 B 71911 SKF 7211 BE B – 55x63x40	ČSN 02 4645 ČSN 02 4645 ČSN 02 4645 ČSN 02 4645 ČSN 02 3499	2 8 2 2 2
Těsná pera	A 16x10x50 A 16x10x50 A 12x8x80	ČSN 02 2562 ČSN 02 2562 ČSN 02 2562	4 3 1
Podložky	12 13 21 MB 11	ČSN 02 1740 ČSN 02 1745 ČSN 02 1746 ČSN 02 3640	14 12 1 2
Matice	M6 M12 M20 M55 x 1,5	ISO 4161 ČSN 02 1402 ČSN 02 1402 ČSN 02 1449	32 12 4 2

6.7.2 Výkresová dokumentace

Sestava mostového jeřábu byla kvůli přehlednosti rozkreslena do podsestav. Každá podsestava byla vyobrazena ve svém vlastním výkrese sestavy. Dále byli dle zadání vypracovány detailní výkresy dvou rozdílných vybraných součástí. Výkresová dokumentace je přiložena k dokumentu.

6.7.3 Průřezný profil jeřábu

Minimální hodnoty pro bezproblémový průjezd jeřábu halou vyjadřuje schéma průřezného profilu jeřábu (Obr. 55). Tento průřezný profil není upraven vůlemi z normy.



Obr. 55 Průřezný profil jeřábu

7 Závěr

Úkolem této práce bylo navrhnout malý mostový jeřáb s elektrickým pohonem. Řešení této práce není hotový model, ale pouze návrh varianty možného řešení. Snahou o splnění tohoto zadání bylo docíleno společně s návrhem nekonvenčního řešení, které může být odrazovým můstkem pro mírně odlišný pohled na tuto problematiku.

Při návrhu byl jako tažný element uvažován řetěz. Není ovšem nutností použití řetězu. Požadovaný účel by mohlo splnit také lano a to s řadou jistých výhod i nevýhod. Při použití lana jako tažného elementu by muselo dojít k náhradě hnaného ořechu za lanový buben, v kterém by se mohla skrýt převodovka a nebyla by nutná montáž sběrnic zavěšených pod jeřábem.

Již zmíněný řetěz, je poháněn pohonem umístěným přímo v tělese mostu, který je tvořen dvěma U profily umístěnými otevřením proti sobě. Tažnému elementu je udáván pohyb zapadáním jednotlivých článků do drážek rotujícího ořechu umístěného na poháněné hřídeli, která rotuje v dvojici kluzných ložisek. Kluzná ložiska jsou uložena v přírubách, chráněna břitovým těsněním. Již zmíněná hřídel je poháněna pomocí převodového elektromotoru, který disponuje na svém výstupu požadovanými otáčkami a točivým momentem. Elektromotor je vybaven provozní a bezpečnostní brzdou pro udržení břemene v požadované poloze.

Pro přenos točivého momentu u pohonu řetězu může být při neuspokojivém výsledku výpočtu těsného pera použito rovnoboké drážkování, které při stejné délce spoje přenese vyšší zatížení než spoj s pery a lépe snáší rázy. Při nároku na minimální zeslabení hřídele se naskytá možnost použít metodu nalisování ořechu na hřídel. Toto spojení ale nebylo použito, protože je moment přenášen pouze pomocí adheze mezi hřídelí a nábojem, což bylo z hlediska bezpečnosti u tohoto zdvihacího zařízení shledáno za nevhodné řešení. Vyhovující by zřejmě bylo i spojení pomocí polygonálního profilu.

Výše zmíněný pohon je umístěn na obou stranách jeřábů. Jedna strana se stará o zdvih břemene a jeho udržení v požadované výšce - slouží tedy jako zdvihadlo. Druhá strana slouží k nastavení polohy kočky, která pojíždí spodní pásnice mostu. Aby nedocházelo k změně výšky zdvihu břemene vlivem podélného pojezdu, bylo by ideální toto konstrukční řešení obohatit o elektrické vazby mezi jednotlivými elektromotory. Celé toto konstrukční řešení vycházelo z myšlenky zbavit most v jeho střední části zatížení působícího od zavěšeného zdvihadla a poháněné kočky.

Jelikož nebyla specifikována rozebíratelnost jeřábu, je most na obou stranách svařen k příčnícím, které jsou opět tvořeny U profily. Nosník je tvarově upraven tak, aby fungoval jako protikus k příčnícímu, do kterého je zasunut a následně přivařen. K tělese příčnícímu jsou dále přivařeny dva obdélníkové profily sloužící jako rám pro usazení kol příčného pojezdu. V takto přivařeném profilu jsou vytvořeny díry, do kterých jsou na obou stranách umístěny ložiskové domky. Domky jsou osazeny ložisky nesoucí na jedné straně příčnícímu hnanou a na druhé nehnanou hřídel. Na každé straně jeřábů je vždy jedno kolo přes hnanou hřídel poháněno pomocí servomotoru, který je na příslušném domku uchycen pomocí příruby a šroubů.

Pro finalizaci této práce je nutné přesněji dopočítat velikosti svarových housenek a šroubových spojů, které jsou v práci zakresleny. Tento, stále ještě hrubý návrh, není počítán podle příslušných norem a při případné výrobě by bylo nutné provést odpovídající prokázání výsledků výpočtu komponent jeřábu. Výšku rámu nad kolejí by možná bylo dobré upravit, protože při současném řešení je zde mezera pouze 5 mm. Tento rozměr se dá v našem případě nejjednodušeji nastavit pomocí zvětšení průměru kola.

8 Seznam příloh

KKS-PBP-01-001_SESTAVA-JERAB

KKS-PBP-01-002_PODSESTAVA-POHON_ZDVIHADLA

KKS-PBP-01-003_PODSESTAVA-KOČKA

KKS-PBP-01-004_PODSESTAVA-POHON_PŘÍČNÍKU

KKS-PBP-02-001_SVAŘOVANÁ_PODSESTAVA-RÁM

KKS-PBP-03-001_VÝROBNÍ_VÝKRES-LOŽISKOVÝ_DOMEK_POHONU_PRŮCHOZÍ

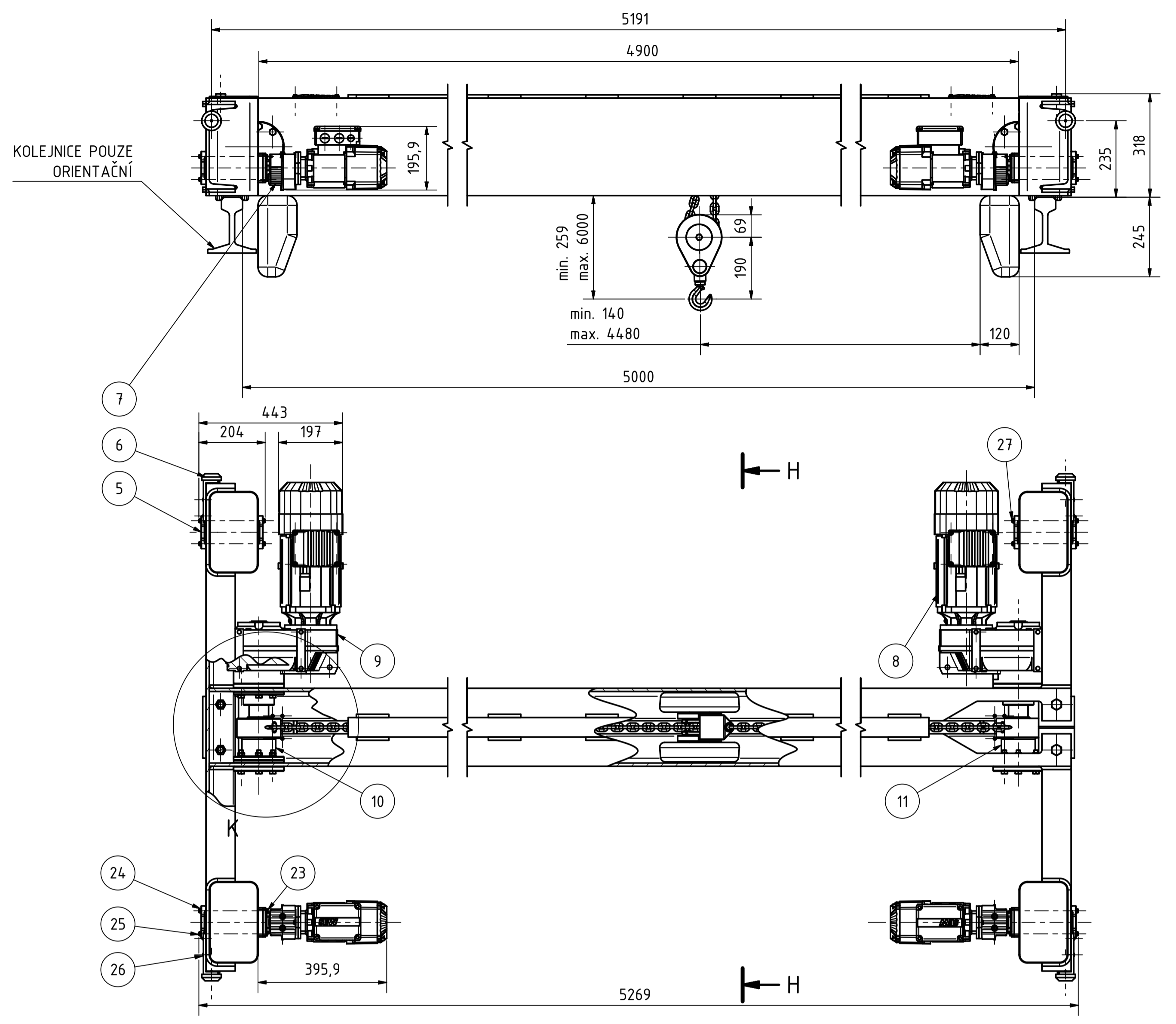
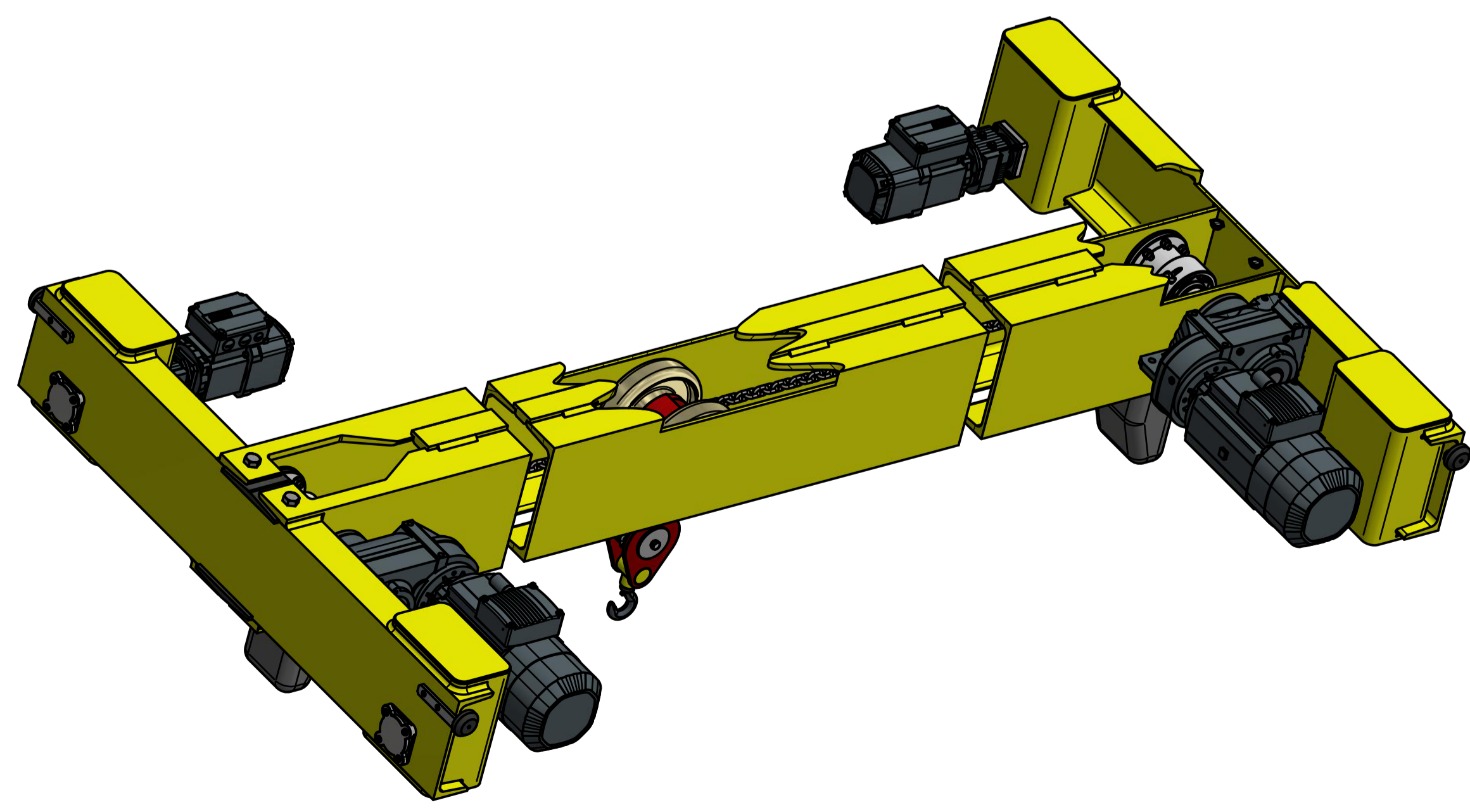
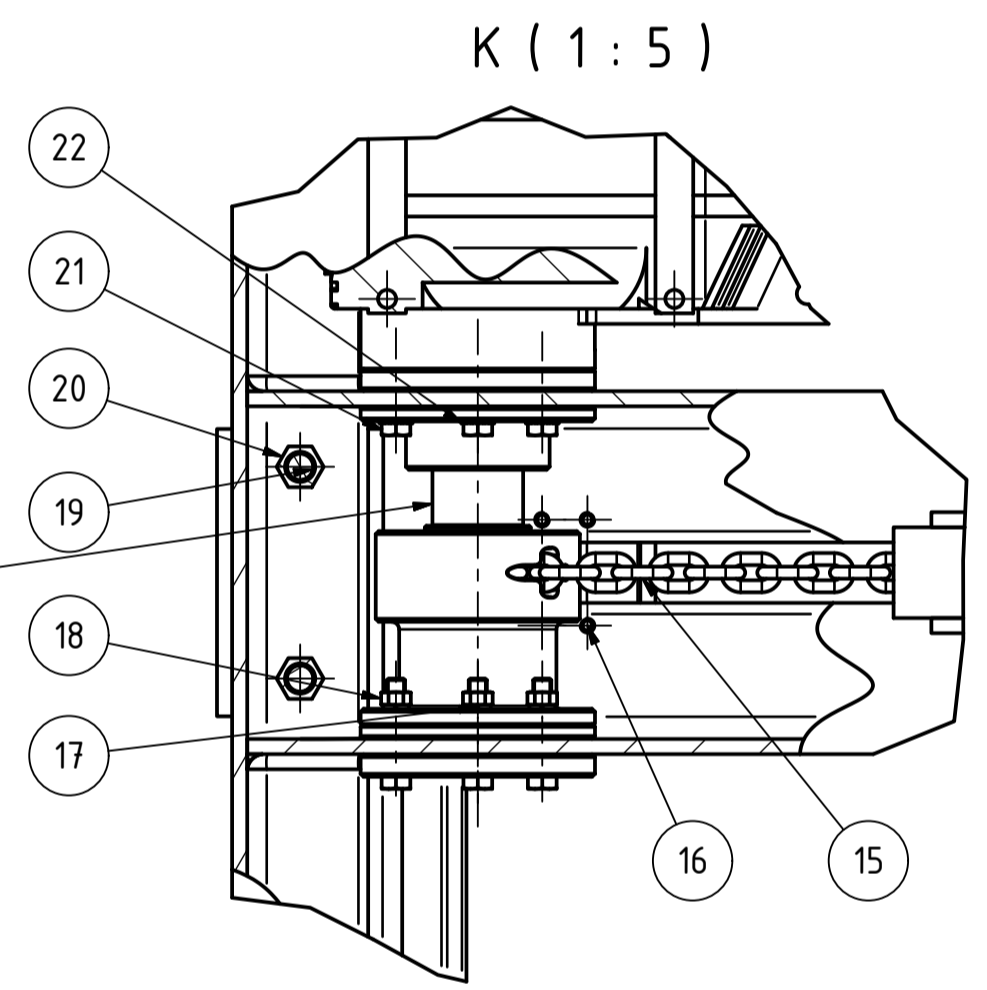
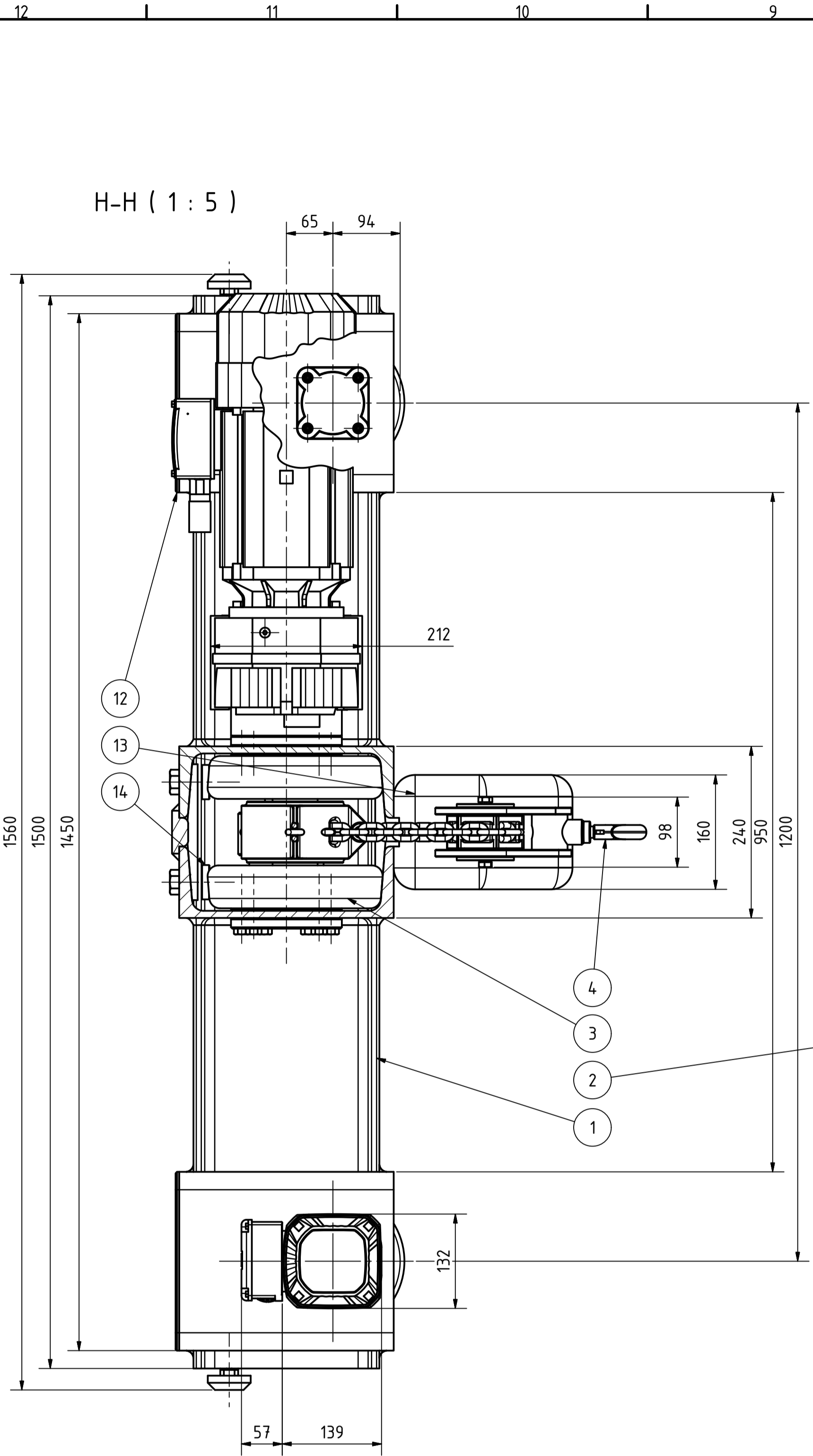
KKS-PBP-03-002_VÝROBNÍ_VÝKRES-TÁHLO

9 Reference

- [1] ADAMEC CRANE SYSTEMS *Jeřáby a zdvihací technika* <https://www.adamec.cz/cs/design-open-media>, 2018
- [2] MOSTOVÉ JEŘÁBY, a. s. *Výroba, rekonstrukce, generální opravy mostových jeřábů* <https://www.mostove-jeraby.cz/index.html> MOSTOVÉ JEŘÁBY, a. s. 2018
- [3] Jiří POSPÍŠIL *Měření jeřábových drah pro jejich montáž, revizi a údržbu* [http://udrzapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews\[tt_news\]=7138&cHash=f02dec725&type=98](http://udrzapodniku.cz/index.php?id=47&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=7138&cHash=f02dec725&type=98) Institut geodézie a důlního měřictví, HGF, VŠB-TU Ostrava, 2016
- [4] Ing. STANISLAV CIESLAR *Revoluční design mostových jeřábů* <https://konstrukce.cz/zajimavosti-z-oboru/revolucni-designy-mostovych-jerabu-prinos-pro-ekonomiku-provozu-387> KONSTRUKCE MEDIA s.r.o., 2021
- [5] ERGONOMIC PARTNERS *Cleveland Tramrail Patented Track* https://www.youtube.com/watch?v=AMcCKrpqDNg&ab_channel=ErgonomicPartners
- [6] TEKWELL *High-Level History of Everhead Cranes* <http://www.tekwellservices.com/high-level-history-of-overhead-cranes/> Tekwell, 2021
- [9] GANTRY RAIL *Upevňovací systémy, sverky a podložky* <https://gantryrail.com/dodavky-materialu/upevnovaci-systemy-sverky-a-podlozky/>
- [10] 2TS.CZ *Vázací prostředky, lana a řetězy* <https://www.2ts.cz/>
- [11] FST ZČU Plzeň *KKS/DFX – SW podpora hodnocení konkurenceschopnosti alternativ orgánových struktur* <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kks/dfx> Katedra konstruování strojů, ZČU, Plzeň: Stanislav Hosnedl, Petr Skřivánek, Tomáš Kalina Plzeň 2020
- [12] SKF 6000 EN 00_03 *Selection of bearing size* https://www.pksevis.com/data/web/skf/6000_CS_00_03_Ur%C4%8Den%C3%AD%20velikosti%20lo%C5%BEiska.pdf
- [13] FIRMA PEWAG *High strength chains for Hoists* <https://www.pewag.cz/novinky-katalogy/katalogy/>
- [14] FIRMA PEWAG *Dopravníkové řetězy a komponenty* <https://www.pavlinek.cz/db/wysiwyg/File/katalogy/PEWAG/Katalog%20Kratzerfoerderketten%20CZ.pdf>
- [15] KONECRANES *Smart features* <https://www.konecranes.com/resources/smart-features-2021>
- [16] REMOCZ *Mostové jeřáby* <https://www.remocz.com/mostove-je-raby> 2021, Tlumačov
- [17] Ing. JIŘÍ LEINVEBER, Ing. PAVEL VÁVRA *STROJNICKÉ TABULKY* Albra spol. s.r.o. 2017. ISBN 978-80-7361-111-8

PŘÍLOHA č. 1

KKS-PBP-01-001_SESTAVA-JERAB



27	8	ŠROUB - M6 x 32	CSN 02 1201	Přesné šrouby s malou šestihlannou hlavou	-	0,009 kg
26	8	ŠROUB - M6x8	CSN EN ISO 2010	Šrouby se zápuštnou čokovitou hlavou. Výrobní třída A	-	0,003 kg
25	16	ŠROUB - M6 x 42	CSN 02 1201	Přesné šrouby s malou šestihlannou hlavou	-	0,011 kg
24	32	MATICE - M6	ISO 4161	Šestihlanné matice s nákrůžkem-hrubý závit	-	0,004 kg
23	8	ŠROUB - M6 x 40	CSN 02 1201	Přesné šrouby s malou šestihlannou hlavou	-	0,011 kg
22	12	PODLOŽKA - 13	CSN 02 1745	Zoubkovaná pojistná podložka	-	0,002 kg
21	24	ŠROUB - M12 x 65	CSN 02 1111	Šroub s šestihlannou hlavou s dlouhým závitom	-	0,083 kg
20	4	MATICE - M20	CSN 02 1402	Malé šestihlanné matice	-	0,043 kg
19	4	ŠROUB - M20 x 65	CSN 02 1111	Šroub s šestihlannou hlavou s dlouhým závitom	-	0,246 kg
18	12	MATICE - M12	CSN 02 1402	Malé šestihlanné matice	-	0,011 kg
17	12	PODLOŽKA - 12	CSN 02 1740	Pružné podložky čtvercového průřezu	-	0,002 kg
16	8	ŠROUB - M8 x 22	CSN 02 1201	Přesné šrouby s malou šestihlannou hlavou	-	0,014 kg
15	1	ŘETĚZ PEWAG 8x24 bf G100	EN 818-7 / ISO 3077	26m HE0-chain WN G100 8x24 bf	G100	-
14	4	ÚHLOVÁ PODLOŽKA	KKS-PBP-02-099	-	ČSN 11 500	0,129 kg
13	2	SBĚRNICE	KKS-PBP-02-097	-	PC/ABS plast	0,491 kg
12	4	KRYTKA	KKS-PBP-02-098	-	PC/ABS plast	0,087 kg
11	1	DOMEK POHONU oposite	KKS-PBP-02-096	-	EN AW-6061 EN 573	1,183 kg
10	1	DOMEK POHONU	KKS-PBP-02-095	-	EN AW-6061 EN 573	1,323 kg
9	1	FHZ67DRN100L4BE5/DI/KD1/TF	-	Elektromotor - 3kW	-	22,216 kg
8	1	FHZ67DRN100L4BE5/DI/KD1/TF	-	Elektromotor oposite - 3kW	-	22,216 kg
7	2	PODSESTAVA - POHON PŘÍČNÍKU	KKS-PBP-01-004	Včetně elektromotoru	-	25,092 kg
6	4	PODSESTAVA - DORAZ	KKS-PBP-01-070	-	-	0,317 kg
5	2	PODSESTAVA - KOLO PŘÍČNÍKU	KKS-PBP-01-050	-	-	20,220 kg
4	1	PODSESTAVA - HÁK	KKS-PBP-01-040	-	-	2,673 kg
3	1	PODSESTAVA - KOČKA	KKS-PBP-01-003	-	-	33,356 kg
2	2	PODSESTAVA - POHON ZDVIHADLA	KKS-PBP-01-002	-	-	16,358 kg
1	1	SVAŘOVANÁ PODSESTAVA - RÁM	KKS-PBP-02-001	-	ČSN 11 375	679,820 kg
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	NORMA	POPIS	MATERIÁL	HMOTNOST

Měřítko	1:10	Hmotnost (kg)	CCA 830 kg	Průměr	Ø	Formát	A1
	Kreslil	HEJNA JAN	Název	MOSTOVÝ JEŘÁB 5000 mm, 2,5 t			
	Datum	05.05.2021	Číslo dokumentu	KKS-PBP-01-001			
	Schválil		Druh dokumentu	VÝKRES SESTAVY			
KKS	KATEDRA KONSTRUKČNÍ STROJŮ			Líst 1 z 10 7			

PŘÍLOHA č. 2

KKS-PBP-01-002_PODSESTAVA-POHON_ZDVIHADLA

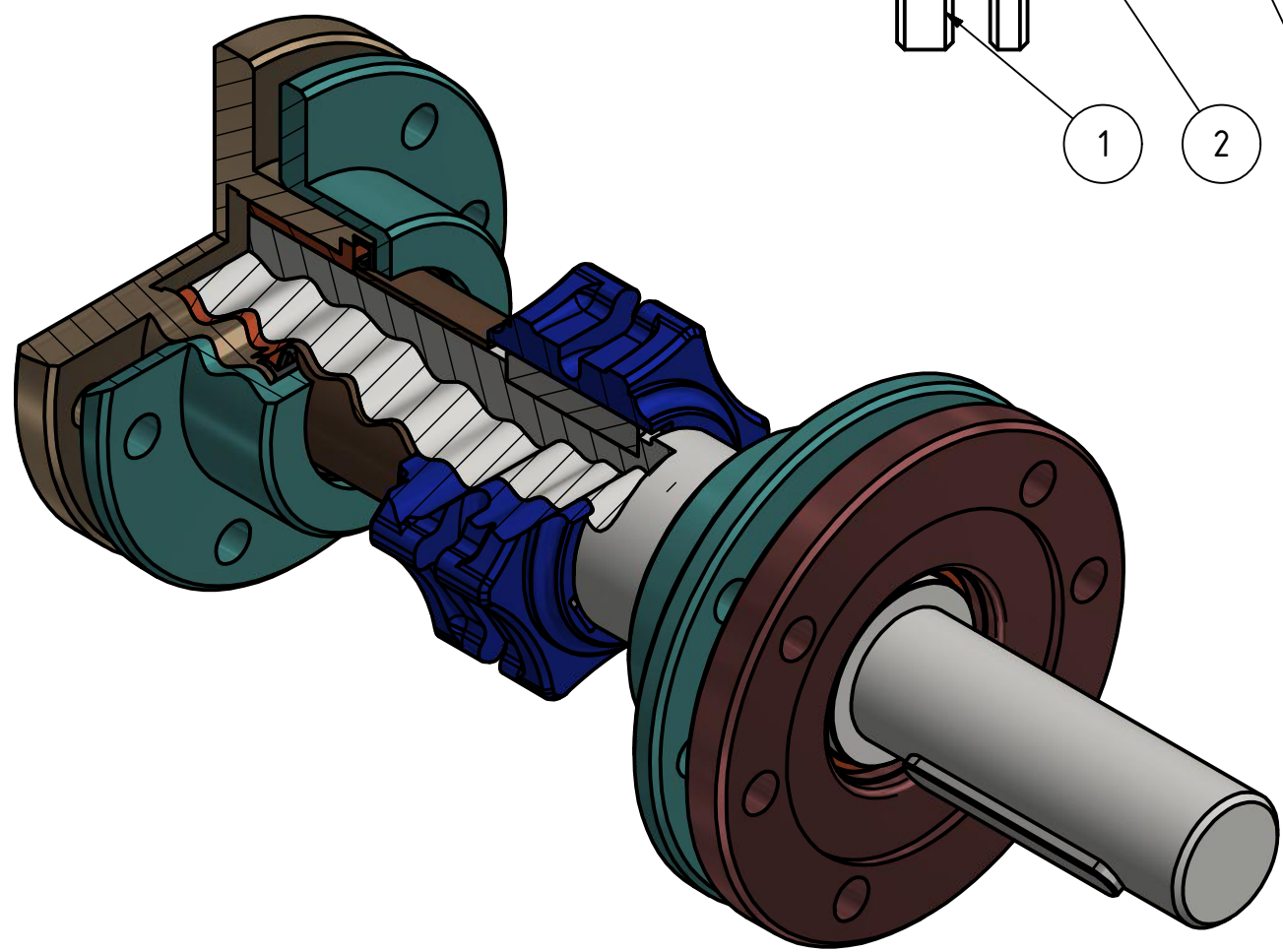
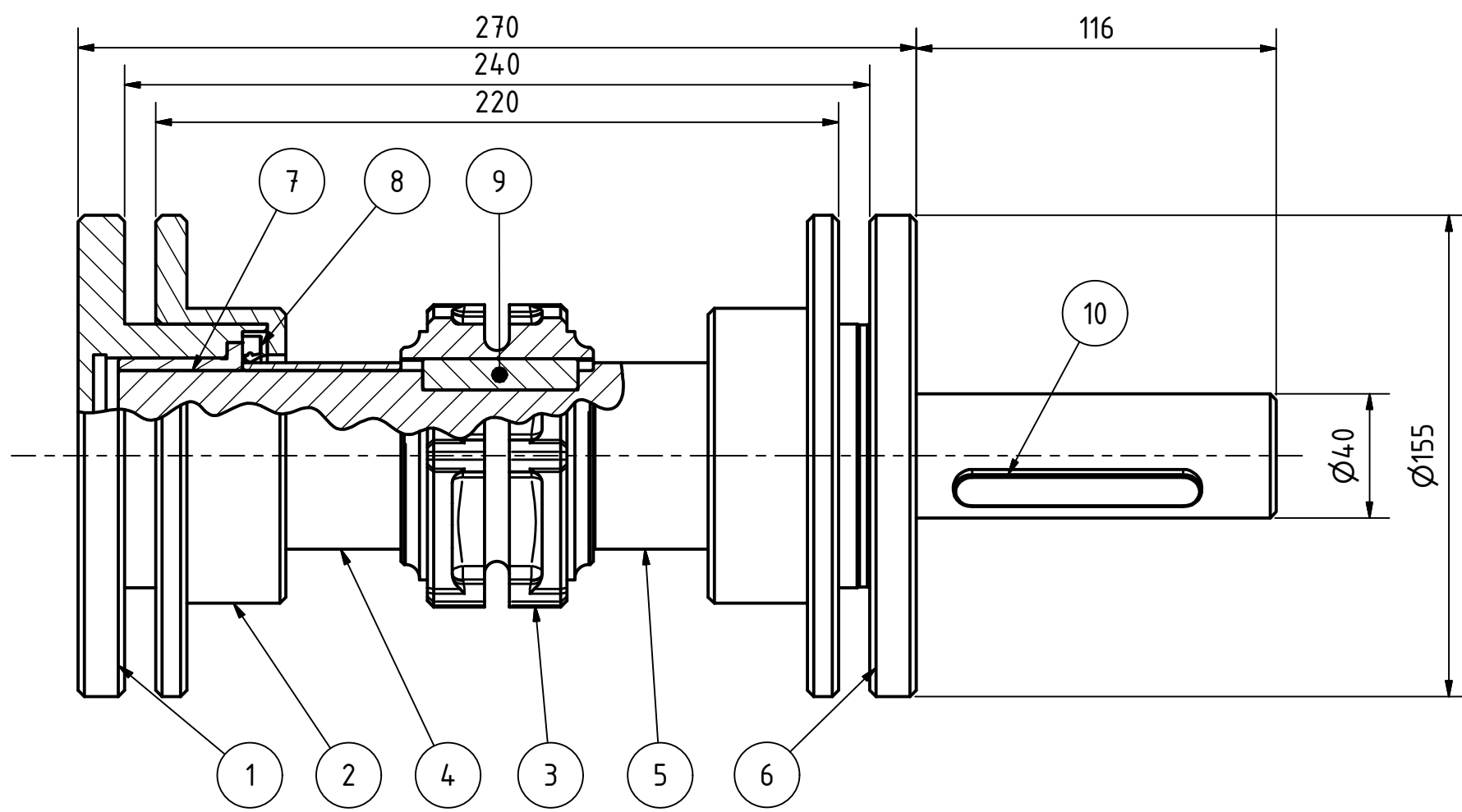
6 5 4 3 2 1

D

C

B

A



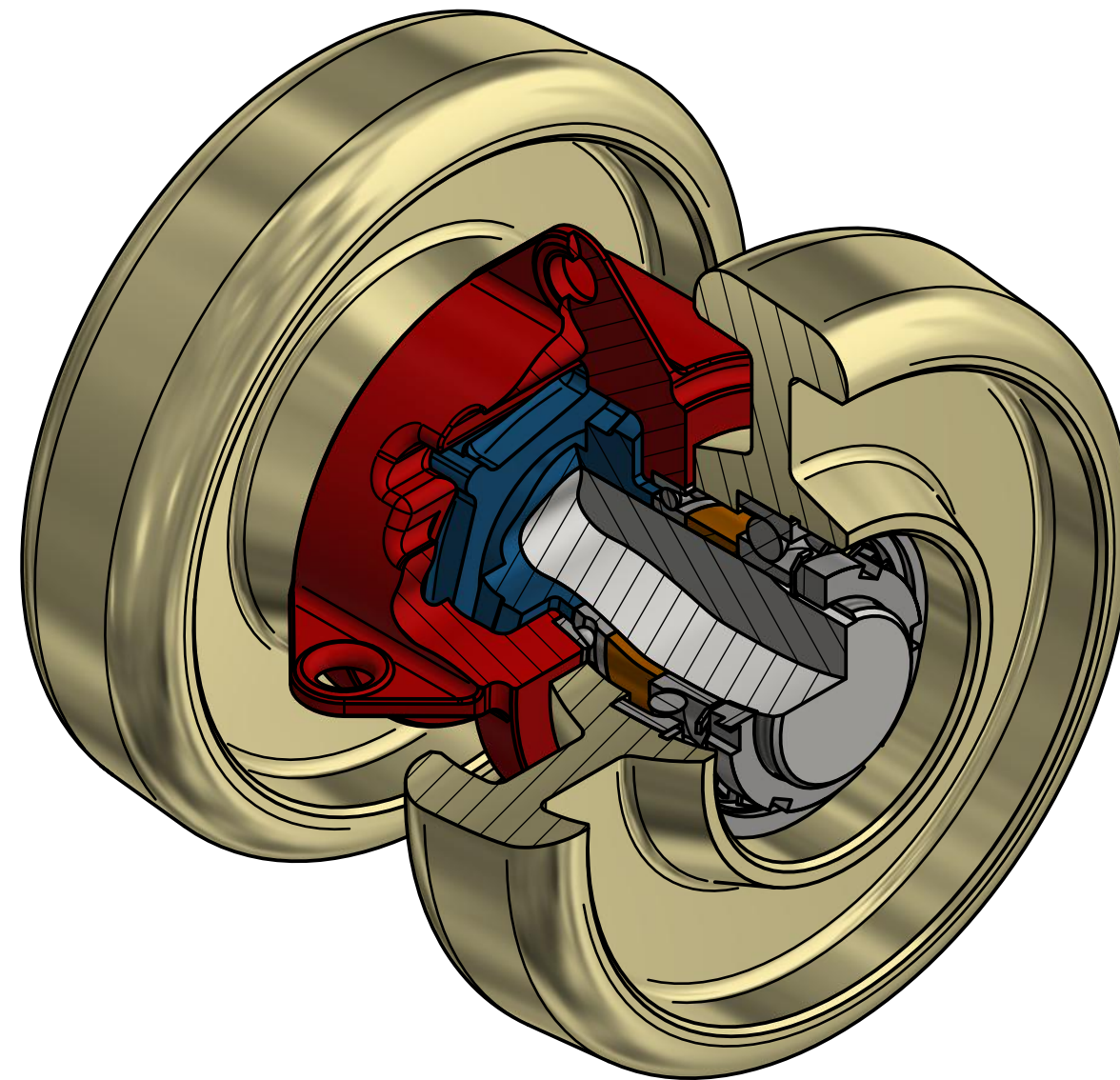
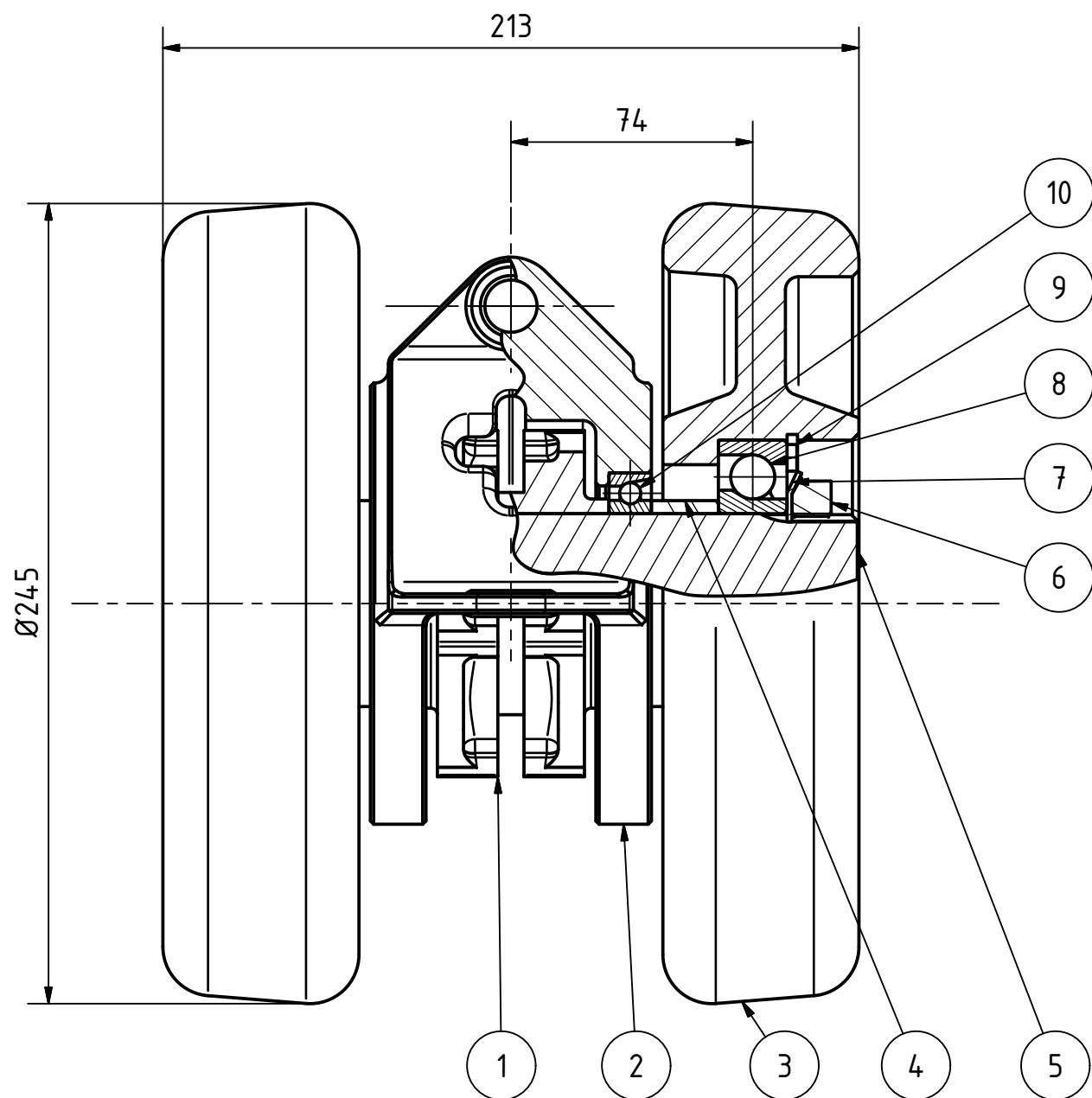
11	1	PLASTICKÉ MAZIVO SKF LGEP			
10	1	PERO - 12e7x8x80	0,058 kg	-	CSN 02 2562
9	3	PERO 16e7x10x50	0,058 kg	-	CSN 02 2562
8	2	TĚSNĚNÍ G 60x80x8 - NBR	0,007 kg	-	CSN 02 9401
7	2	LOŽISKO - B - 55x63x40	0,310 kg	-	CSN 02 3499
6	1	LOŽISKOVÝ DOMEK POHONU PRŮCHOZÍ	2,340 kg	ČSN 11 600	
5	1	HŘÍDEL - POHON	5,910 kg	ČSN 12 061	
4	1	OPĚRNÝ KROUŽEK	0,203 kg	ČSN 42 3037	
3	1	OŘECH - POHON	1,586 kg	ČSN 42 2719	
2	2	PŘÍRUBA	1,415 kg	ČSN 11 500	
1	1	LOŽISKOVÝ DOMEK POHONU NEPRŮCHOZÍ	2,622 kg	ČSN 11 600	
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	HMOTNOST	MATERIÁL	NORMA

Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	16,358	Promítání		Formát	A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	HEJNA JAN		Název			
	Datum	06.05.2021		POHON ZDVIHADLA			
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Číslo dokumentu			
	Datum			KKS-PBP-01-002			
Druh dokumentu		VÝKRES PODESTAVY		List 2 Listů 7			

6 5 4 3 2 1

PŘÍLOHA č. 3

KKS-PBP-01-003_PODSESTAVA-KOČKA

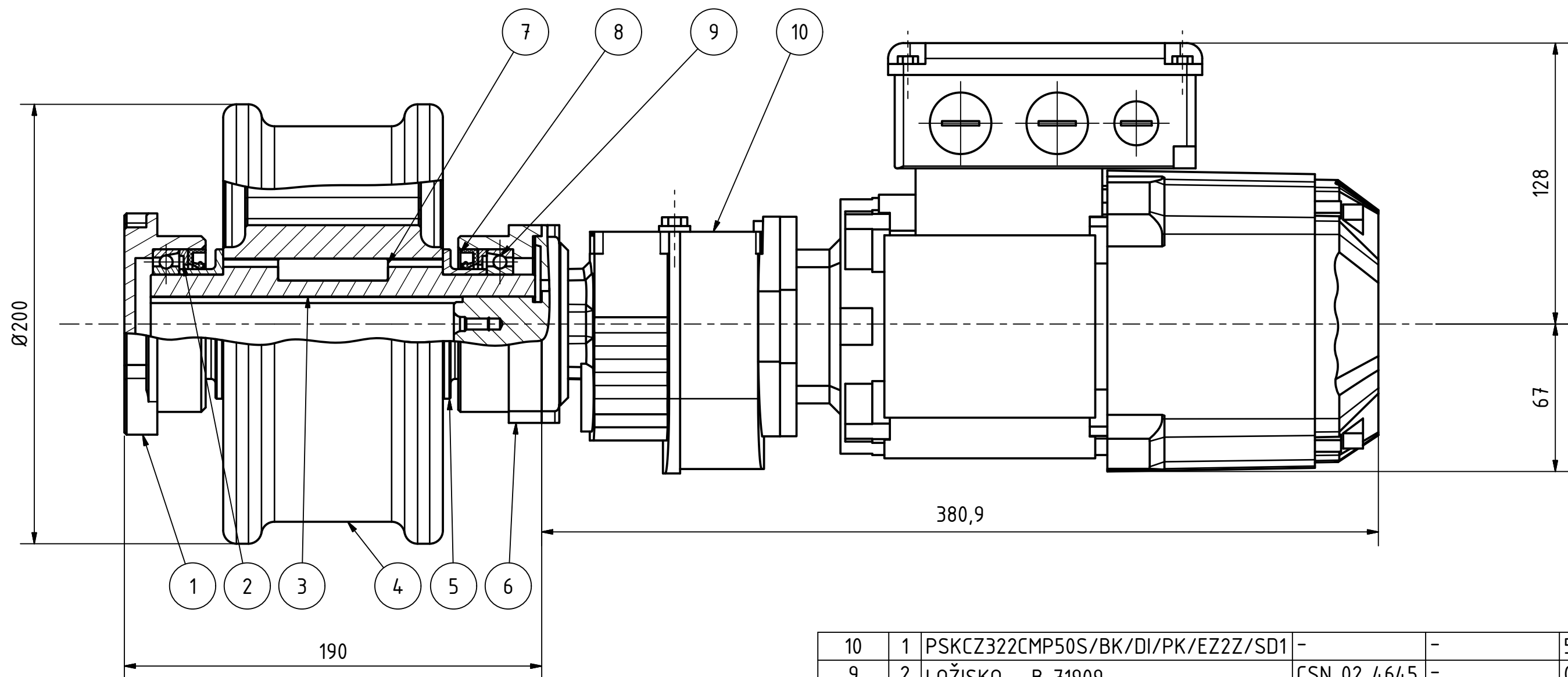


10	2	LOŽISKO - B 71911	CSN 02 4645		0,165 kg
9	2	POJISTNÝ KROUŽEK - 100	CSN 02 2931		0,042 kg
8	2	LOŽISKO - SKF 7211 BE	CSN 024645 SKF		0,519 kg
7	2	PODLOŽKA - MB11	CSN 02 3640		0,024 kg
6	2	MATICE - M 55 x 1,5	CSN 02 1449		0,181 kg
5	1	HŘÍDEL KOČKY		ČSN 12 061	3,942 kg
4	2	VLOŽKA		ČSN 11 500	0,119 kg
3	2	KOLO KOČKY		ČSN 42 2424	10,700 kg
2	1	TÁHLO		ČSN 42 2760	4,401 kg
1	1	OŘECH - KOČKA		ČSN 42 2719	1,515 kg
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	NORMA	MATERIÁL	HMOTNOST

Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	33,358	Promítání		Formát	A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	HEJNA JAN		Název			KOČKA
	Datum	06.05.2021		Číslo dokumentu			
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			KKS-PBP-01-003			
	Datum			Druh dokumentu			
				VÝKRES PODESTAVY		List 3 Listů 7	

PŘÍLOHA č. 4

KKS-PBP-01-004_PODSESTAVA-POHON_PŘÍČNÍKU

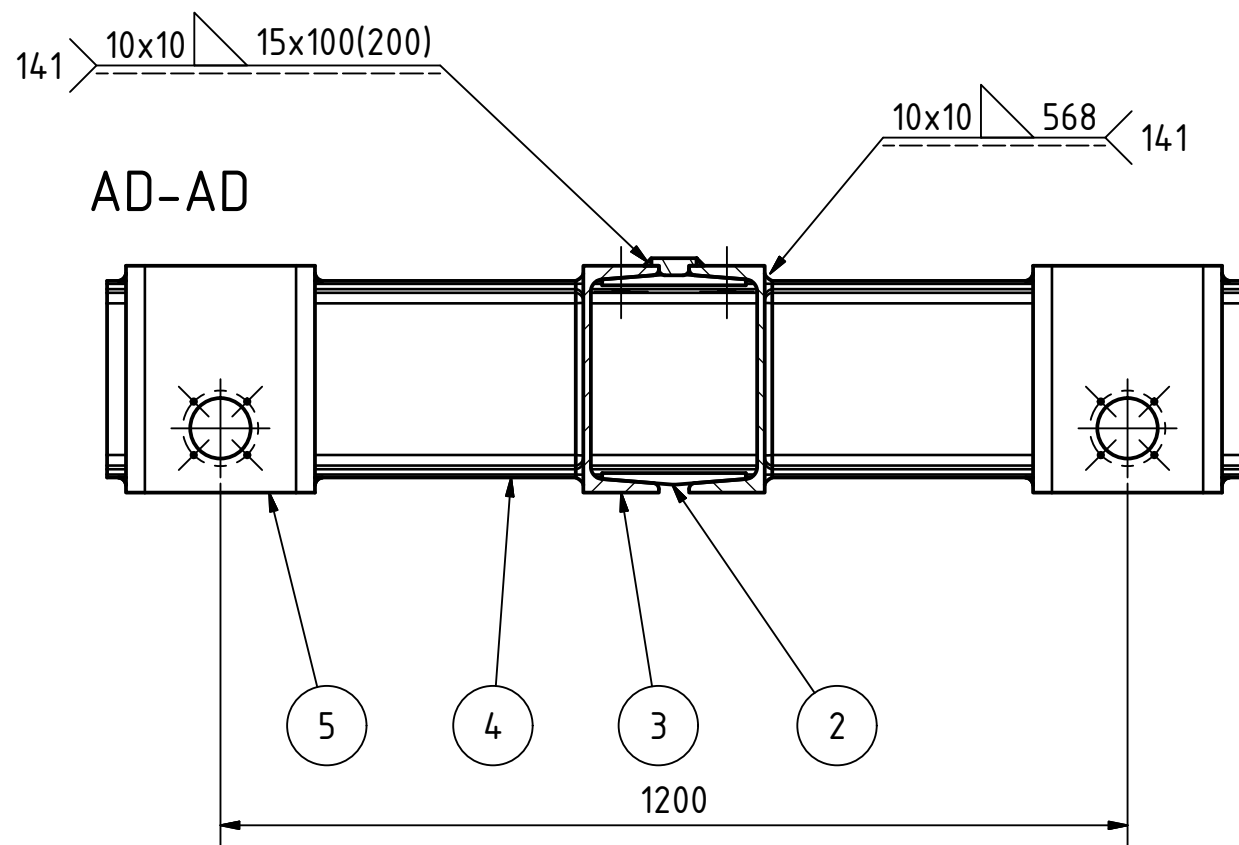
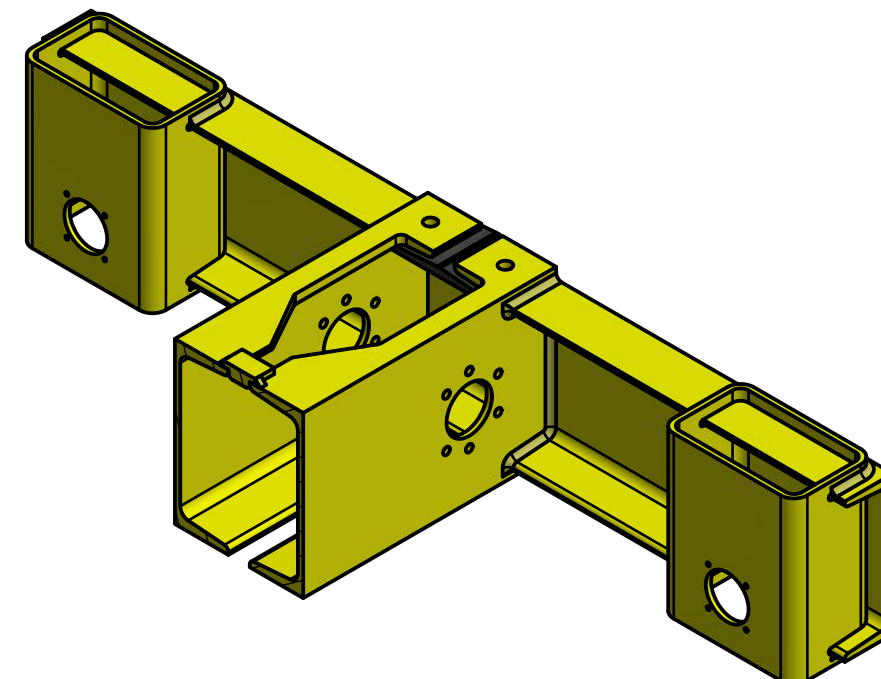
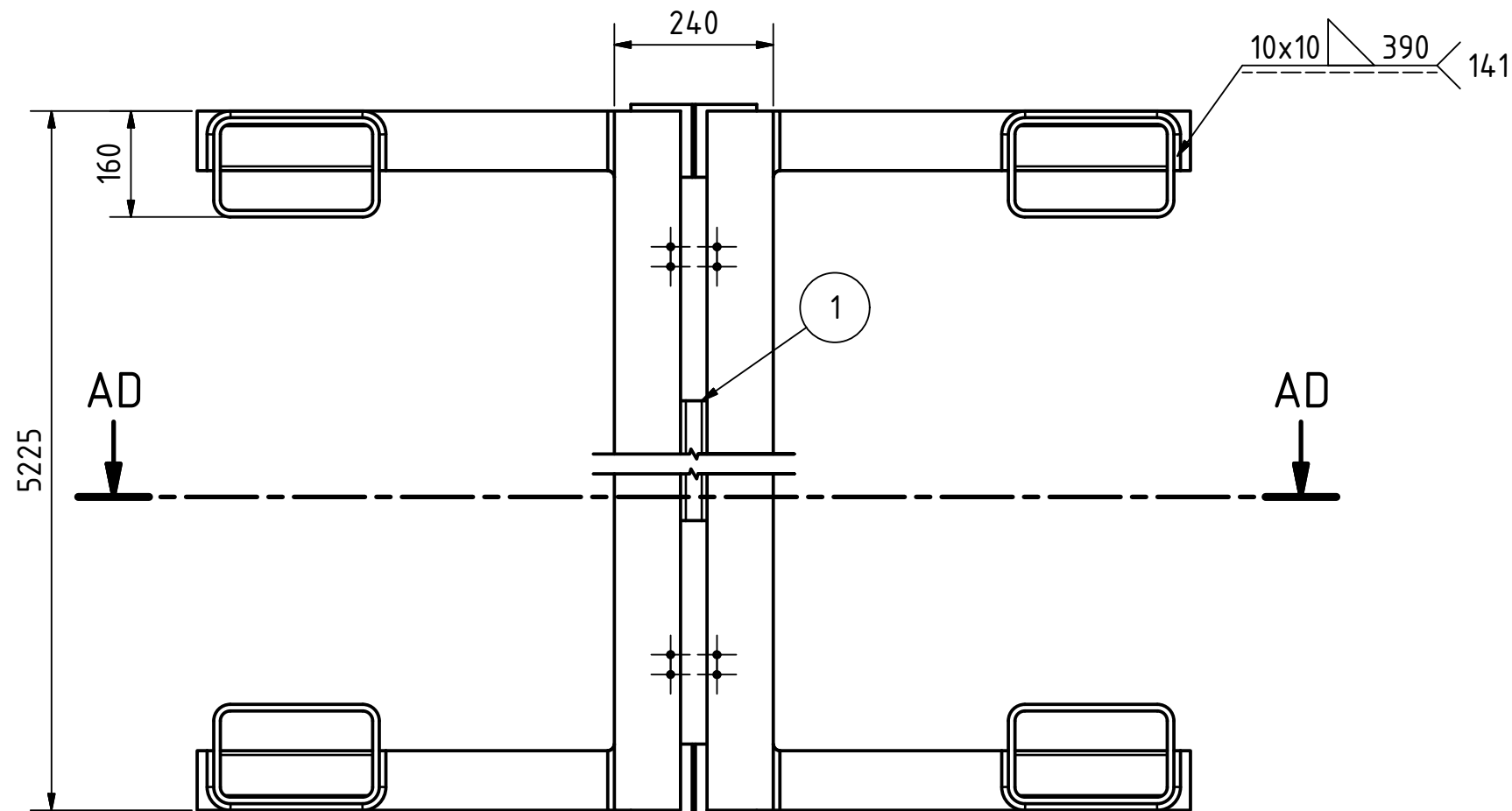


10	1	PSKCZ322CMP50S/BK/DI/PK/EZ2Z/SD1	-	-	5,495 kg
9	2	LOŽISKO - B 71909	CSN 02 4645	-	0,118 kg
8	2	TĚSNĚNÍ - G 50x68x8 - NBR	CSN 02 9401	-	0,006 kg
7	1	PERO - 16x10x50	CSN 02 2562	-	0,058 kg
6	1	LOŽISKOVÝ DOMEK VNITŘNÍ	-	ČSN 11 600	0,767 kg
5	2	NÁKRUŽEK	-	ČSN 11 343	0,105 kg
4	1	KOLO PŘÍČNÍKU	-	ČSN 42 2424	15,168 kg
3	1	HŘÍDEL POHONU PŘÍČNÍKU	-	ČSN 12 061	2,116 kg
2	2	MEZIČLÁNEK	-	ČSN 11 343	0,004 kg
1	1	LOŽISKOVÝ DOMEK VNĚJŠÍ	-	ČSN 11 600	1,024 kg
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	NORMA	MATERIÁL	HMOTNOST

Měřítko	1:2	Hmotnost (kg)	25,094	Promítání		Formát	A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	HEJNA JAN		Název POHON PŘÍČNÍKU			
	Datum	06.05.2021					
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Číslo dokumentu KKS-PBP-01-004			
	Datum						
Druh dokumentu				VÝKRES PODESTAVY			

PŘÍLOHA č. 5

KKS-PBP-02-001_SVAŘOVANÁ_PODSESTAVA-RÁM



5	1200 mm	DUTÝ PROFIL - 250x150x10 - 300	ISO 10799-2	ČSN 11 375	15,263 kg
4	3000 mm	TYČ U - 260-1500	CSN 42 5570	ČSN 11 375	52,678 kg
3	10450 mm	TYČ U - 300-5225	CSN 42 5570	ČSN 11 375	235,725 kg
2	4	STŘEDÍCÍ PODLOŽKA		ČSN 11 500	1,103 kg
1	1	STŘEDNÍ PÁSNIČKA		ČSN 11 500	36,761 kg
POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	NORMA	MATERIÁL	HMOTNOST

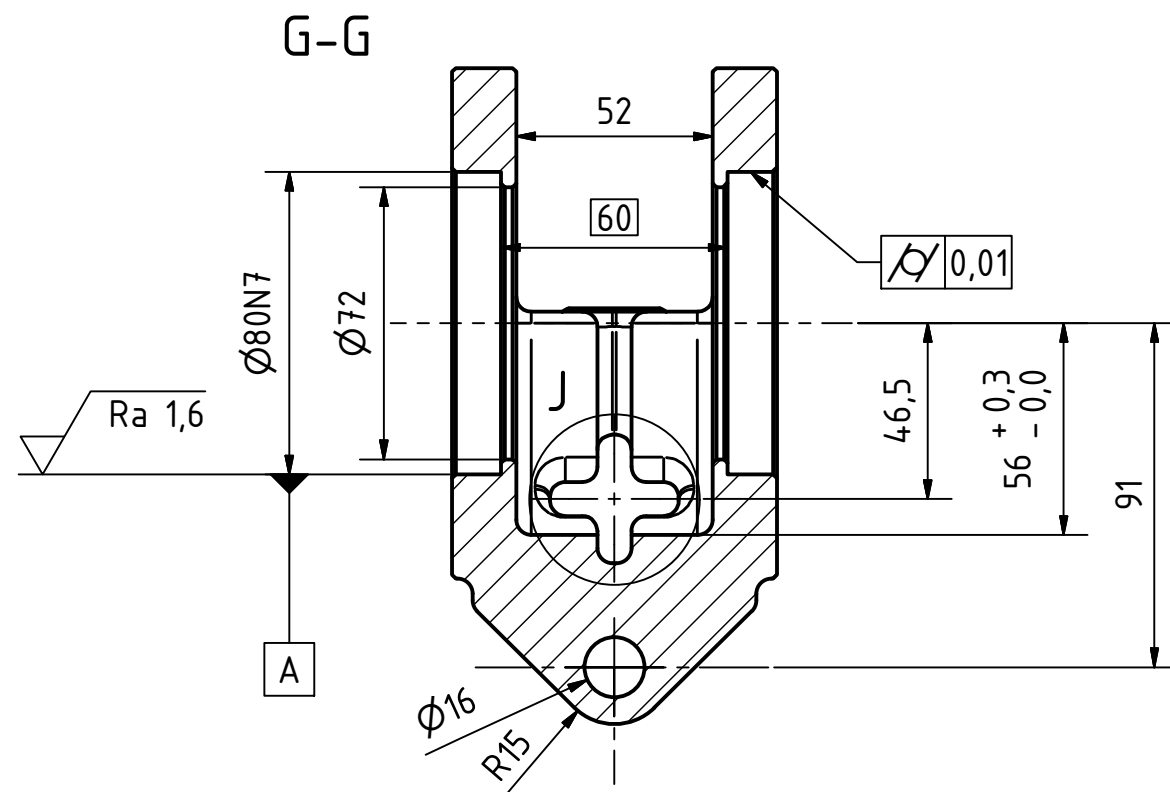
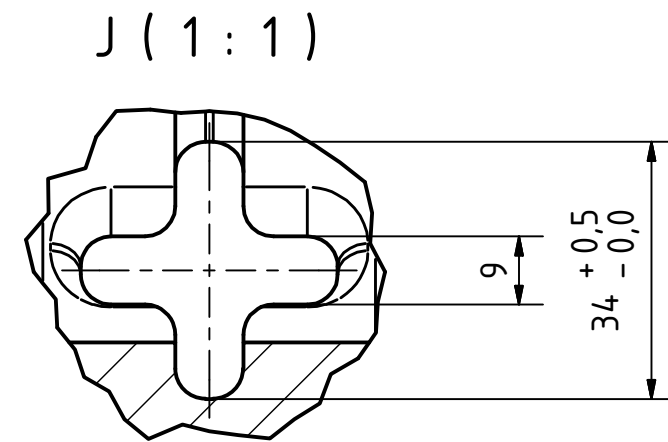
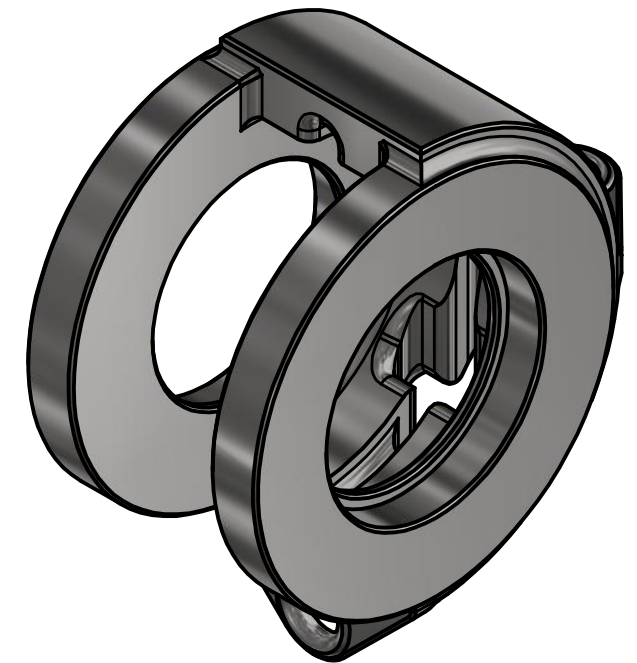
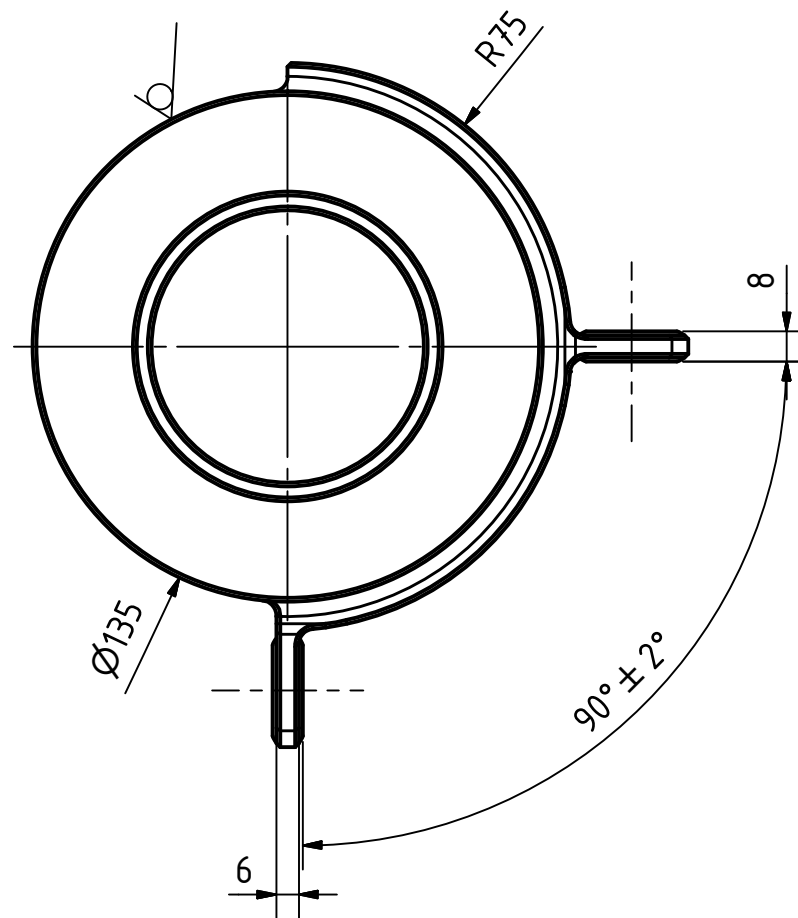
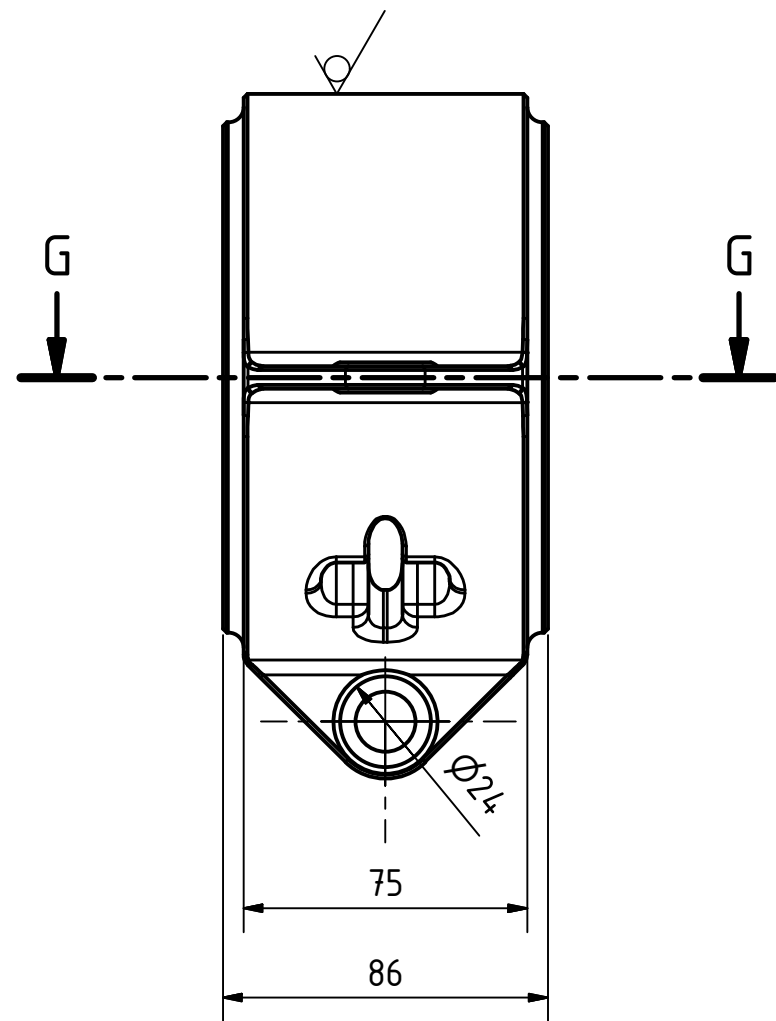
Měřítko	1:10	Hmotnost (kg)	680,022	Promítání		Formát	A3
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil	HEJNA JAN		Název RÁM			
	Datum	06.05.2021					
KKS KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil			Číslo dokumentu KKS-PBP-02-001			
	Datum						
	Druh dokumentu	VÝKRES SVAŘOVANÉ PODSESTAVY					

PŘÍLOHA č. 6


**KKS-PBP-03-001_VÝROBNÍ_VÝKRES-
LOŽISKOVÝ_DOMEK_POHONŮ_PRŮCHOZÍ**

PŘÍLOHA č. 7

KKS-PBP-03-002_VÝROBNÍ_VÝKRES-TÁHLO



ZAOBLENÉ HRANY R4
ZKOSENÉ HRANY 1x45°

Textura povrchu Ra 12,5 (✓)	Hrany ISO 13715 -0,1 +0,1	Měřítko 1:2	Přesnost ISO 2768 - mK
Materiál - Polotovary ČSN 42 2760 - ODLITEK		Hmotnost (kg) 4,401	Tolerování ISO 8015
Formát A3		Promítání 1:1	
 FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI	Kreslil HEJNA JAN	Název TÁHLO	
	Datum 09.05.2021	Číslo dokumentu	
KATEDRA KONSTRUOVÁNÍ STROJŮ	Schválil	KKS-PBP-03-002	
Datum	Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES	List 7 Listů 7	