

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní



Disertační práce

**Analýza dynamických vlastností vibračního kladeče netkaných
textilií**

*Analysis of the dynamic properties of the nonwovens vibrating
lapper*

FS-KST, 2008

Ing. Luděk Kolčava

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Univerzitní knihovna
Voroněžská 7320, Liberec 1
PSČ 461 57

116239

LST
67s, [30]s. pře.
ph. kolcava

Katedra: Katedra částí a mechanismů strojů

Studijní program: 2302V Stroje a zařízení

Studijní obor: 2302V010 Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření: Části a mechanismy strojů

Školitel: Doc. Ing. Josef Mevald, CSc.

Anotace

Jedna z mechanických metod výroby objemové netkané textilie využívá vibrační kolmý kladeč mykané pavučiny. Jestliže je kladeč v provozním režimu silově nevyvážen, je produkce stroje a tedy i celé výrobní linky omezena. Při vyšších otáčkách totiž dochází k nadměrným vibracím, které způsobují hmotné pracovní části kladeče, tzv. tvořící pilka a pěchovací lišta. Celý stroj je namáhán silovou dvojicí, která je vyvolána protiběžnými setrvačnými hmotami. Smysl a velikost momentu jsou závislé na dílčím pootočení pohonného klikového hřídele a na jeho otáčkách.

Cílem této práce bylo nalézt takové řešení, které by dynamicky vyvážilo stroj v celém intervalu provozních rychlostí. S tím bylo spojeno zvýšení produkce stroje a zajištění ustáleného provozu celé linky. Řešením byl takový konstrukční zásah do stroje, který potlačuje vibrace přímo u jeho zdroje. Vyvažovací zařízení ovšem nesmělo silově zatížit pohonný klikový mechanismus.

K vyvážení stroje bylo použito více metod. Nejvýhodnější se ukázala metoda užití dvou nezávislých rotačních hřídelí.

Klíčová slova

vibrační kolmý kladeč, STRUTO, dynamické vyvažování, simulace, provozní tvary kmitů

Anotation

The vibrating perpendicular lapper is used for voluminous nonwoven textile production. This is one of the mechanical methods for perpendicular layering of the carded web. Excessive vibrations limit production of the whole textile line. The vibrations in the higher velocity limit production of voluminous textiles by using the unbalanced perpendicular vibrating lapper. These vibrations are caused by motions of the main active parts, so called a forming comb and a pressure bar. The machine is torque loaded by the force effect of these reciprocating masses. Sense and size of moment are dependent on partial rotary and on the revolution of the drive crankshaft.

Purpose of this work is to propose such a solution, so that the machine would be balanced dynamically in the whole scale of the operating velocity. The most important thing is to increase the production and to ensure a steady run the whole line. Balancing equipment should not load the drive crank mechanism.

The work is focused on the vibration suppression in the possible source of the vibrations. Solution orientates to use "rotate shafts".

Keywords

perpendicular vibrating lapper, STRUTO, dynamic balance, simulation, operating shapes of vibration

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším přátelům za podporu. Stejnou měrou děkuji svému školiteli Doc. Ing. Josefu Mevaldovi, CSc. za jeho trpělivost a odborné rady poskytnuté během zpracování této disertační práce.

Dále bych chtěl poděkovat Všem bývalým kolegům z TU v Liberci, především z Katedry netkaných textilií, v jejichž prostorách a s jejich pomocí se stroj vyvíjel, vedení firmy I.N.T. s.r.o. za možnost pracovat na jejich stroji a zaměstnancům firmy Steels - Vlastimil Smrček s.r.o. za technicko-výrobní konsultace.

Seznam použitých zkratk a symbolů

$\mathbf{a}(\omega)$	komplexní vektor amplitud,
a_i	rozměr přiřazený i-tému prvku [m],
A_i	složka reakční síly v bodě A [N],
ALFA	úhel skladu objemové textilie od základny [°],
b_i	tlumení přiřazené i-tému prvku [$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$],
b_{z_i}	šířka vyvažovacího závaží přiřazená i-tému prvku [m],
B	tlumení [$\text{N}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$],
$\mathbf{B}$	matice tlumení,
B_i	složka reakční síly v bodě B [N],
$\varnothing d, \varnothing D$	průměr hřídele, tělesa [m],
$D(\omega)$	determinant závislý na úhlové rychlosti,
C_i	složka vyvažovací síly v bodě C [N],
$CA(i)$	pomocný výpočtový parametr závislý na i-tém prvku [kg],
$CB(i)$	pomocný výpočtový parametr závislý na i-tém prvku [kg],
D	vzdálenost přiváděcího plechu od dopravníku horko-vzdušné komory [mm],
D_i	složka vyvažovací síly v bodě D [N],
E	vzdálenost vedení objemové textilie pod roštem v „horké“ zóně (obr.2a) [mm],
E	modul pružnosti v tahu [Pa],
F_i	síla přiřazená i-tému prvku nebo směru [N],
$f_{\text{prac.elem}}$	frekvence pracovních elementů (kladecí pilky, pěchovací lišty) [min^{-1}],
$\mathbf{f}(\omega)$	vektor budících sil závislých na úhlové rychlosti,
h_i	rozměr přiřazený i-tému prvku [m],
h_{z_i}	výška vyvažovacího závaží přiřazená i-tému prvku [m],
H	tloušťka výsledného produktu objemové textilie [mm],
I_i	hmotný moment setrvačnosti přiřazený i-tému prvku [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$],
I_{tr}	hmotný moment setrvačnosti pracovní trubky [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$],
I_{PA}	hmotný moment setrvačnosti hnací páky [$\text{kg}\cdot\text{m}^2$],
j	komplexní proměnná [-],
k_i	tuhost přiřazená i-tému prvku [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$],
K	tuhost [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$],
$\mathbf{K}$	matice tuhosti,
l_i	rozměr přiřazený i-tému prvku [m],
L	výška skladu objemové textilie [mm],
L	osová vzdálenost ojnice [m],
m_i	hmotnost přiřazená i-tému prvku [kg],
M_i	moment, silová dvojice přiřazená i-tému prvku [$\text{N}\cdot\text{m}$],
$\mathbf{M}$	matice hmotností,
MathCad	výpočtový program (*.mcd),
MKP	metoda konečných prvků,
MPM	metoda přenosových matic,
n_i	otáčky přiřazené i-tému prvku [otáčky· min^{-1}],
n	otáčky klikové hřídele, resp. asynchronního motoru [otáčky· min^{-1}],
p_i	rozměr přiřazený i-tému prvku [m],
p, p_A, p_B	osová vzdálenost pracovní páky [m],
P_i	třecí síla v kluzných pouzdrech [m],
PES	polyester,

PTK	provozní tvary kmitů,
$\mathbf{q}$	vektor výchylek,
$\mathbf{q}'$	vektor rychlostí,
$\mathbf{q}''$	vektor zrychlení,
q	spojité zatížení [$\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$],
r_i	rozměr přiřazený i-tému prvku [m],
$r_0, r_{0A}, r_{0B}, r_1, r_2$	osová vzdálenost ramena kliky pohonného hřídele [m],
s_i	amplituda dráhy pracovních elementů [m],
SolidWorks_CosmosXpress	výpočtový program (*.html, *.avi, *.jpg),
STRUTO	patentovaný název kolmo kladené objemové textilie,
t	čas [s],
UVK	ustálené vynucené kmity,
v_1	obvodová rychlost přiváděcích kotoučů [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$],
v_2	obvodová rychlost pracovních kotoučů [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$],
v_3	rychlost dopravníku horko-vzdušné komory [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$],
v_{pav}	rychlost vstupující pavučiny z mykacího stroje [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$],
x_i	výchylka do směru x přiřazená i-tému prvku [m],
x_i'	rychlost do směru x přiřazená i-tému prvku [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
x_i''	zrychlení do směru x přiřazené i-tému prvku [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
X	označení osy,
$ X_i(\omega) $	absolutní hodnota amplitudy v ose x přiřazená i-tému prvku [m],
X_i	reakční síla v podpoře stroje v ose x [N],
X	výchylka do směru x [m],
X_i	amplituda výchylky do směru x přiřazená i-tému prvku [m],
y_i	výchylka do směru y přiřazená i-tému prvku [m],
y_i'	rychlost do směru y přiřazená i-tému prvku [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$],
y_i''	zrychlení do směru y přiřazené i-tému prvku [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$],
Y	označení osy,
$ Y_i(\omega) $	absolutní hodnota amplitudy v ose y přiřazená i-tému prvku [m],
Y_i	reakční síla v podpoře stroje v ose y [N],
Y	výchylka do směru y [m],
Y_i	amplituda výchylky do směru y přiřazená i-tému prvku [m],
w	průhyb [m],
WM2D	výpočtový program Working Model 2D 5.0,
$\mathbf{z}_i$	vektor sledovaných veličin přiřazený i-tému prvku,
α , alfa	úhel předstihu klikové hřídele [$^\circ$],
α_{PA}	úhel natočení kluzných pouzder kladecí pilky od svislice [$^\circ$],
β , beta	úhel předstihu vyvažovacího hřídele [$^\circ$],
ζ_i	rozměr přiřazený i-tému prvku [m],
η_i	rozměr přiřazený i-tému prvku [m],
φ_i, φ_i	úhlové natočení přiřazené i-tému prvku [rad],
$\dot{\varphi}_i$	úhlové natočení stroje [rad],
φ_i'	úhlová rychlost přiřazená i-tému prvku [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$],
φ_i''	úhlové zrychlení přiřazené i-tému prvku [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-2}$],
$ \varphi_i(\omega) $	absolutní hodnota amplitudy úhlu φ přiřazená i-tému prvku [rad],
ϕ_i	amplituda úhlu natočení přiřazená i-tému prvku [rad],
ψ , psí	úhlové natočení kladeče [rad],
ω, Ω , omega	úhlová rychlost [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$],
ω_{KRi}	i-tá kritická úhlová rychlost [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$],

785_NEV	provoz stroje při otáčkách 785 otáčky·min ⁻¹ v nevyváženém režimu,	
785_VYV	provoz stroje při otáčkách 785 otáčky·min ⁻¹ ve vyváženém režimu,	
960_VYV	provoz stroje při otáčkách 960 otáčky·min ⁻¹ ve vyváženém režimu.	
1	Úvod	10
2	Typy strojů, kladeče, vibrační kladeče	10
3	Výroba netkaných textilií	11
4	Provoz rychloběžného stroje při otáčkách 785 otáček·min ⁻¹ v nevyváženém režimu	12
5	Provoz rychloběžného stroje při otáčkách 785 otáček·min ⁻¹ ve vyváženém režimu	13
6	Provoz rychloběžného stroje při otáčkách 960 otáček·min ⁻¹ ve vyváženém režimu	14
7	Klasifikace vibračních strojů	15
8	Dynamický model stroje	16
9	Klasifikace polohy stroje	16
10	Průběh a výpočet charakteristických veličin	17
11	Analýza dynamického systému	17
12	Výpočet vlastních frekvencí	17
13	Výpočet amplitud a fázových posunů	18
14	Modelování	19
15	Klasifikace vibračních strojů	19
16	Dynamický model stroje	19
17	Seznam příloh	20
18	Modelování	20
19	Klasifikace vibračních strojů	21
20	Dynamický model stroje	21
21	Klasifikace vibračních strojů	22
22	Výpočet amplitud a fázových posunů	22
23	Klasifikace vibračních strojů	23
24	Modelování	24
25	Klasifikace vibračních strojů	25
26	Modelování	26
27	Klasifikace vibračních strojů	27
28	Modelování	28
29	Klasifikace vibračních strojů	29
30	Modelování	30
31	Klasifikace vibračních strojů	31
32	Modelování	32
33	Klasifikace vibračních strojů	33
34	Modelování	34
35	Klasifikace vibračních strojů	35
36	Modelování	36
37	Klasifikace vibračních strojů	37
38	Modelování	38
39	Klasifikace vibračních strojů	39
40	Modelování	40
41	Klasifikace vibračních strojů	41
42	Modelování	42
43	Klasifikace vibračních strojů	43
44	Modelování	44
45	Klasifikace vibračních strojů	45
46	Modelování	46
47	Klasifikace vibračních strojů	47
48	Modelování	48
49	Klasifikace vibračních strojů	49
50	Modelování	50
51	Klasifikace vibračních strojů	51
52	Modelování	52
53	Klasifikace vibračních strojů	53
54	Modelování	54
55	Klasifikace vibračních strojů	55
56	Modelování	56
57	Klasifikace vibračních strojů	57
58	Modelování	58
59	Klasifikace vibračních strojů	59
60	Modelování	60
61	Klasifikace vibračních strojů	61
62	Modelování	62
63	Klasifikace vibračních strojů	63
64	Modelování	64
65	Klasifikace vibračních strojů	65
66	Modelování	66
67	Klasifikace vibračních strojů	67
68	Modelování	68
69	Klasifikace vibračních strojů	69
70	Modelování	70
71	Klasifikace vibračních strojů	71
72	Modelování	72
73	Klasifikace vibračních strojů	73
74	Modelování	74
75	Klasifikace vibračních strojů	75
76	Modelování	76
77	Klasifikace vibračních strojů	77
78	Modelování	78
79	Klasifikace vibračních strojů	79
80	Modelování	80
81	Klasifikace vibračních strojů	81
82	Modelování	82
83	Klasifikace vibračních strojů	83
84	Modelování	84
85	Klasifikace vibračních strojů	85
86	Modelování	86
87	Klasifikace vibračních strojů	87
88	Modelování	88
89	Klasifikace vibračních strojů	89
90	Modelování	90
91	Klasifikace vibračních strojů	91
92	Modelování	92
93	Klasifikace vibračních strojů	93
94	Modelování	94
95	Klasifikace vibračních strojů	95
96	Modelování	96
97	Klasifikace vibračních strojů	97
98	Modelování	98
99	Klasifikace vibračních strojů	99
100	Modelování	100

Obsah

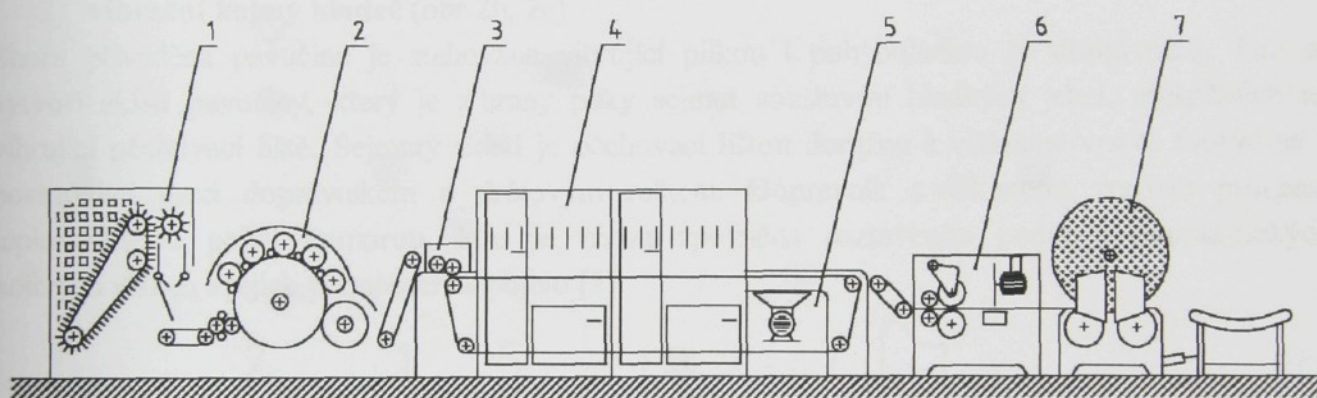
1	ÚVOD	10
1.1	Výroba netkaných textilií	10
1.2	Popis výroby kolmo kladené objemové textilie	10
1.3	Princip kolmého kladení	11
1.4	Provozní rychlosti a pracovní šířky kladečů	13
2	TECHNICKÁ ŘEŠENÍ – KONSTRUKČNÍ POSTUPY	15
2.1	Kladeč využívající absorbéry kmitů	15
2.1.1	Dynamický model stroje	15
2.1.2	Soustava pohybových rovnic [2]	16
2.1.3	Návrh a výpočet parametrů absorbéru	16
2.1.4	Analytické řešení dynamického systému	17
2.1.4.1	Výpočet vlastních frekvencí	17
2.1.4.2	Výpočet amplitud ustálených vynucených kmitů (UVK) při harmonickém buzení	18
2.1.5	Hodnocení	19
2.2	Kladeč využívající kyvné vyvažovací hřídele	19
2.2.1	Dynamický model stroje	19
2.2.2	Soustava pohybových rovnic [3]	20
2.2.3	Hodnocení	20
2.3	Kladeč využívající rotační vyvažovací hřídele	21
2.3.1	Dynamický model stroje	21
2.3.2	Soustava rovnic stanovující optimální hmotnosti vývažků [4]	22
2.3.3	Vliv úhlového nastavení vyvažovacích hřídelí vůči poloze klikového mechanismu	22
2.3.4	Konstrukční popis stroje	24
2.3.4.1	Horizontální a vertikální seřízení	25
2.3.4.2	Pracovní mechanismus	26
2.3.4.3	Pohonné ústrojí	27
3	VÝPOČET DYNAMICKÉHO CHOVÁNÍ STROJE KV3-06-250	28
3.1	Vstupní hodnoty	28
3.2	Simulační řešení	29
3.2.1	Základní parametry nastavení [5]	29
3.2.2	Hodnoty tuhostí a tlumení	29
3.2.3	Výsledné hodnoty amplitud kmitů	29
3.3	Analytické řešení	32
3.3.1	Schéma modelu	32
3.3.2	Amplitudy ustálených vynucených kmitů	33
3.4	Porovnání výsledků analytického a simulačního řešení	34
3.4.1	Hmotnost rotujících vývažků 0,01 kg	34
3.4.2	Hmotnost rotujících vývažků 8,00 kg	35
3.4.3	Hodnocení	36

4	EXPERIMENT	37
4.1	Provozní tvary kmitů (PTK) na kolmém vibračním kladeči KV3-06-250 [6]	37
4.1.1	Význam a možnosti využití PTK [7]	37
4.1.2	Měření PTK na stroji KV3-06-250	37
4.1.2.1	Předpoklady měření [8]	37
4.1.2.2	Postup při praktickém zjišťování PTK [8]	37
4.1.2.3	Volba měřicích bodů	38
4.1.2.4	Vyhodnocení měření PTK na stroji KV3-06-250	39
4.1.2.5	Zhodnocení měření PTK na stroji KV3-06-250	41
5	KOMPONENTNÍ VÝPOČTY	45
5.1	Statické namáhání pěchovací lišty	45
5.1.1	Analytické řešení	45
5.1.2	Řešení metodou konečných prvků (MKP)	46
5.1.2.1	Předpoklad	46
5.1.2.2	Informace o síti	47
5.1.2.3	Výsledky analýzy	48
5.1.2.3.1	Napětí von Mises	48
5.1.2.3.2	Výsledný posun	48
5.2	Statické namáhání rotujícího vyvažovacího hřídele	49
5.2.1	Průhyb hřídele při krouživém kmitání	49
5.3	Torzní a ohybové kmitání pracovní hřídele pilky	50
5.3.1	Analytické řešení metodou přenosových matic (MPM) [12]	50
6	TECHNICKÁ DOKUMENTACE	53
7	ZÁVĚR	62
7.1	Hodnocení konstrukce stroje	62
7.2	Použití stroje v praxi	62
7.3	Vývoj nové řady kladečů	65
8	POUŽITÁ LITERATURA	66
9	PŘÍLOHY	67

1 ÚVOD

1.1 Výroba netkaných textilií

Textilní firmy investující do výroby netkaných textilií často řeší při úpravách stávajících nebo u nově budovaných výrobních linek otázku zvýšení produkce a spolehlivosti. Úkolem každého projektového týmu je sestavit takovou výrobní linku, která produkuje výrobky s požadovanou kvalitativní a kvantitativní produkcí. Důležité je, aby investice vložená do technologie měla příznivou návratnost. Z toho vyplývá, že jednotlivé výrobní stroje linky musí být využity na maximální možnou pracovní rychlost. U výrobní linky se hledá vždy „slabý článek“, který brzdí ostatní stroje v lince. Konkrétním příkladem je linka na výrobu kolmo kladené a teplovzdušně zpevněné objemové textilie, viz obr.1. Slabým článkem v daném případě je kolmý kladeč (3), jehož maximální provozní rychlost je nedostatečná. Současně stroj vykazuje nadměrné vibrace, které negativně ovlivňují jak kvalitu výrobku, tak i spolehlivost linky.



Obr.1. Schéma linky na výrobu kolmo kladené objemové textilie

Legenda:

1 – zařízení pro rozvolnění vláken, 2 – mykací stroj, 3 – kolmý kladeč, 4 – teplovzdušná komora, 5 – ochlazovací dopravník, 6 – podélné a příčné řezací zařízení, 7 – navíječ textilie.

1.2 Popis výroby kolmo kladené objemové textilie

Cílem vývoje výše uvedené technologie byla snaha připravit vlákenné vrstvy s vyšší odolností vůči stlačení. S tloušťkou textilie, která je v podmínkách praktického použití funkcí stlačení (použití v čalounickém a nábytkářském průmyslu, v oděvech, spacích pytlích atd.), souvisí přímo některé její užitné hodnoty, jako je výplňová a měkkící schopnost, tepelně izolační vlastnosti a jiné. Zvýšení odolnosti vůči stlačení se u kolmo kladených textilií dosahuje tím, že vlákna jsou ve vrstvě orientována převážně kolmo k rovině textilie. Vlákna jsou pak v průběhu stlačování namáhána spíše na vzpěr, než na ohyb [1].

1.3 Princip kolmého kladení

Vývoj strojů kladoucích mykanou pavučinu kolmo k výrobnímu pásu je velmi rozsáhlý. Od rotačních principů, přes principy, kdy pracovní elementy vykonávaly kyvné pohyby, až k přesně definovaným přímočaře vratným pohybům, viz obr.2a, 2b, 2c. Technologie se vyvíjela vždy s ohledem na co nejjednodušší konstrukci stroje, ale vývoj ukázal, že optimum je třeba hledat u varianty poslední, tj. obr.2c. Tato varianta vyhovuje z hlediska kvality výrobku, ovšem z hlediska dynamického chování stroje je to nejnepříznivější varianta, neboť hmotné pracovní elementy vykonávají pohyby přímočaré vratné. Nepříznivé je též jejich rozmístění a fázový úhel.

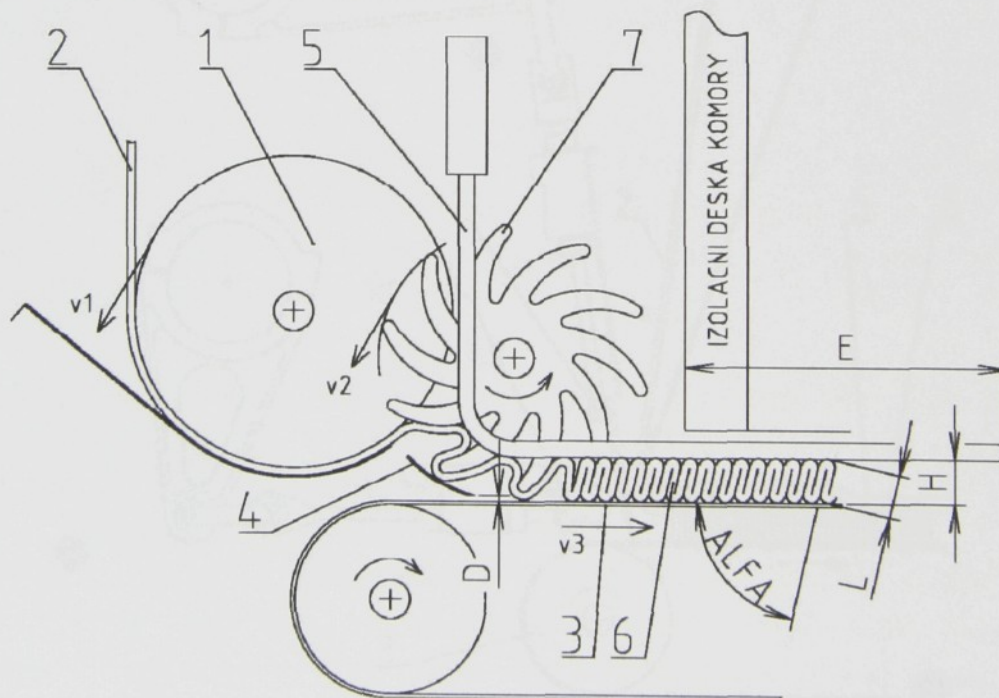
Pro výrobu vláknenných vrstev kolmým kladením byla vyvinuta dvě zařízení:

1) **rotační kolmý kladeč** (obr.2a).

Vlákenná pavučina je přiváděná k soustavě pracovních kotoučů, jejichž hroty je formována do vláknenné vrstvy tvořené kolmými sklady. Sklady jsou snímány z hrotů soustavou drátů roštu, umístěných mezi jednotlivými pracovními kotouči. Následuje zpevnění vrstvy postupem, který je popsán u vibračního kladeče [1].

2) **vibrační kolmý kladeč** (obr.2b, 2c).

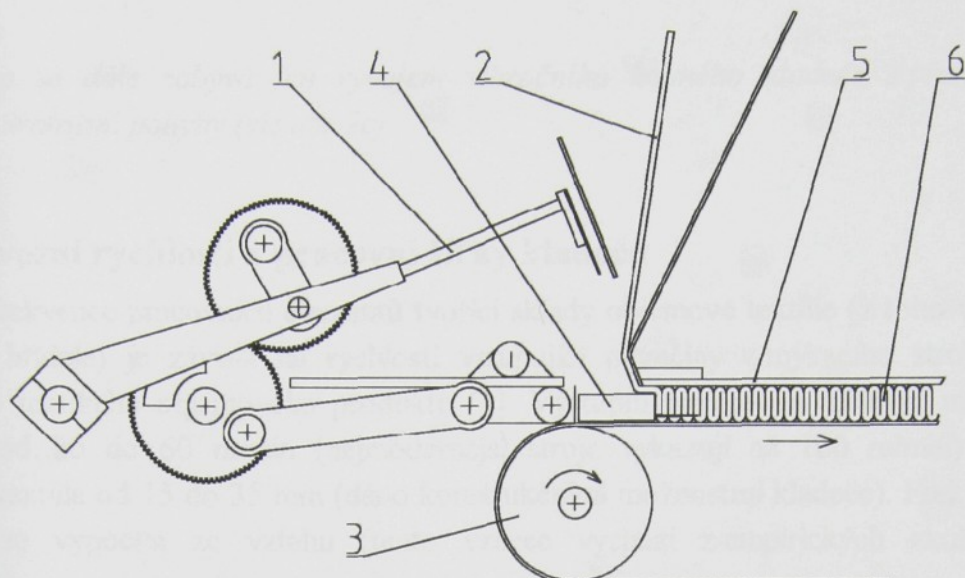
Shora přiváděná pavučina je stahována vibrující pilkou k pohybujícímu se dopravníku. Tím se vytvoří sklad pavučiny, který je z hrany pilky sejmut soustavou hladkých jehel, umístěných na vibrující pěchovací liště. Sejmutý sklad je pěchovací lištou doražen k vlákenné vrstvě tvořící se a postupující mezi dopravníkem a drátovým roštem. Dopravník s vlákennou vrstvou prochází teplovzdušnou pojící komorou, kde je vrstva zpevněna roztavením podílu termoplastických pojivých vláken a jejich přeměnou na pojivo [1].



Obr.2a. Rotační kolmý kladeč pavučiny

Legenda:

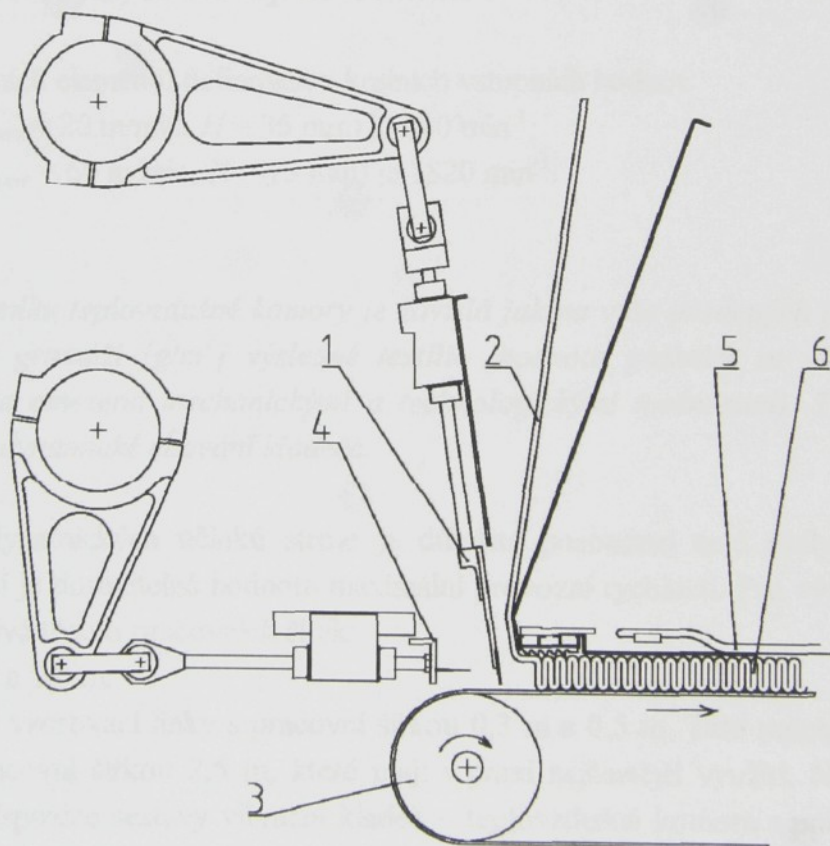
1 – příváděcí kotouč, 2 – pavučina z mykacího stroje, 3 – dopravník teplovzdušné komory, 4 – příváděcí plech, 5 – drátový rošt, 6 – kolmo kladená vlákenná vrstva, 7 – hrot pracovního kotouče.



Obr.2b. Vibrační kolmý kladeč pavučiny (kyvné pohyby vibrující pilky)

Legenda:

1 – kladecí pilka, 2 – pavučina z mykacího stroje, 3 – dopravník teplovzdušné komory, 4 – přechovací lišta, 5 – drátový rošt, 6 – kolmo kladená vlákenná vrstva.



Obr.2c. Vibrační kolmý kladeč pavučiny (přímočaré vratné pohyby pracovních elementů)

Legenda:

1 – kladecí pilka, 2 – pavučina z mykacího stroje, 3 – dopravník teplovzdušné komory, 4 – přechovací lišta, 5 – drátový rošt, 6 – kolmo kladená vlákenná vrstva.

Poznámka:

Tato práce se dále zabývá jen vývojem vibračního kolmého kladeče s přesně definovanými přímočaře vratnými pohyby (viz obr. 2c).

1.4 Provozní rychlosti a pracovní šířky kladečů

Provozní frekvence pracovních elementů tvořící sklady objemové textilie (z toho vyplývající otáčky klikového hřídele) je závislá na rychlosti vstupující pavučiny z mykacího stroje a na tloušťce výsledného textilního objemového produktu [1]. Výstupní rychlost pavučiny z mykacích strojů se pohybuje od 20 do 60 m/min (nejmodernější stroje vykazují až 100 m/min) a výška skladu objemové textilie od 15 do 35 mm (dáno konstrukčními možnostmi kladeče). Frekvence pracovních elementů se vypočítá ze vztahu (tento vzorec vychází z empirických zkušeností textilních technologů):

$$f_{\text{prac. elem.}} [\text{min}^{-1}] = \frac{v_{\text{pav}} [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]}{2,2 \cdot H [\text{mm}] \cdot 10^{-3}}, \quad (1)$$

kde:

v_{pav} – rychlost vstupující pavučiny z mykacího stroje,

$2,2 \cdot H$ – dvojnásobek + 20% výšky skladu objemové textilie.

Interval frekvencí pracovních elementů definován z krajních vstupních hodnot:

minimální hodnota ($v_{\text{pav}} = 20 \text{ m/min}$, $H = 35 \text{ mm}$) je 260 min^{-1} ,

maximální hodnota ($v_{\text{pav}} = 60 \text{ m/min}$, $H = 15 \text{ mm}$) je 1820 min^{-1} .

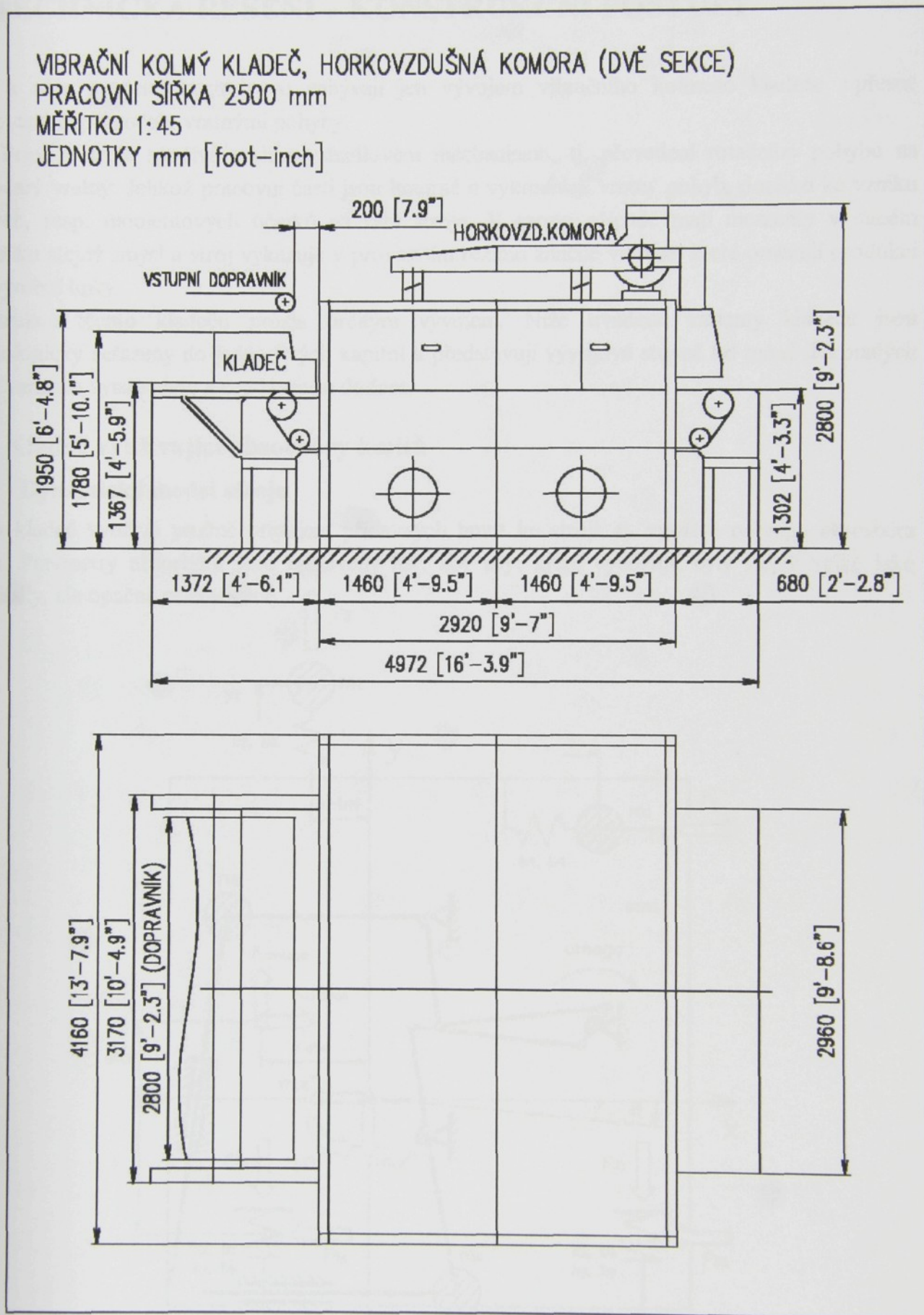
Poznámka:

Výstupní rychlost dopravníku teplovzdušné komory je závislá jak na výše uvedených parametrech, tak na vyráběné plošné gramáži $[\text{g/m}^2]$ výsledné textilie (hodnota gramáže se vždy pohybuje v určitém intervalu, tj. je omezena mechanickými a technologickými možnostmi). Tato hodnota nemá rozhodující vliv na dynamické chování kladeče.

Z hlediska vyšetřování dynamických účinků stroje je důležité posouzení celé škály provozních frekvencí, kde rozhodující je dosažitelná hodnota maximální provozní rychlosti. Pro výrobu kladené objemové textilie se využívá těchto pracovních šířek:

- 1,5 m; 2,0 m; 2,5 m a 3,0 m.

Existují laboratorní, resp. vzorovací linky s pracovní šířkou 0,3 m a 0,5 m. Tato práce je zaměřena především na stroje s pracovní šířkou 2,5 m, které mají v praxi nejčastější využití. Na obr.3 jsou znázorněny rozměrové dispozice sestavy vibrační kladeč – teplovzdušná komora s pracovní šířkou 2,5 m. Pro vyšetřování dynamického chování kladeče během pracovního procesu je důležitá vzájemná poloha a vazba těchto dvou strojů.



Obr.3. Rozměrové schéma kladeč – horko-vzdušná komora s pracovní šířkou 2,5 m

2 TECHNICKÁ ŘEŠENÍ – KONSTRUKČNÍ POSTUPY

Tato a níže uvedené kapitoly se zabývají jen vývojem vibračního kolmého kladeče s přesně definovanými přímočaře vratnými pohyby.

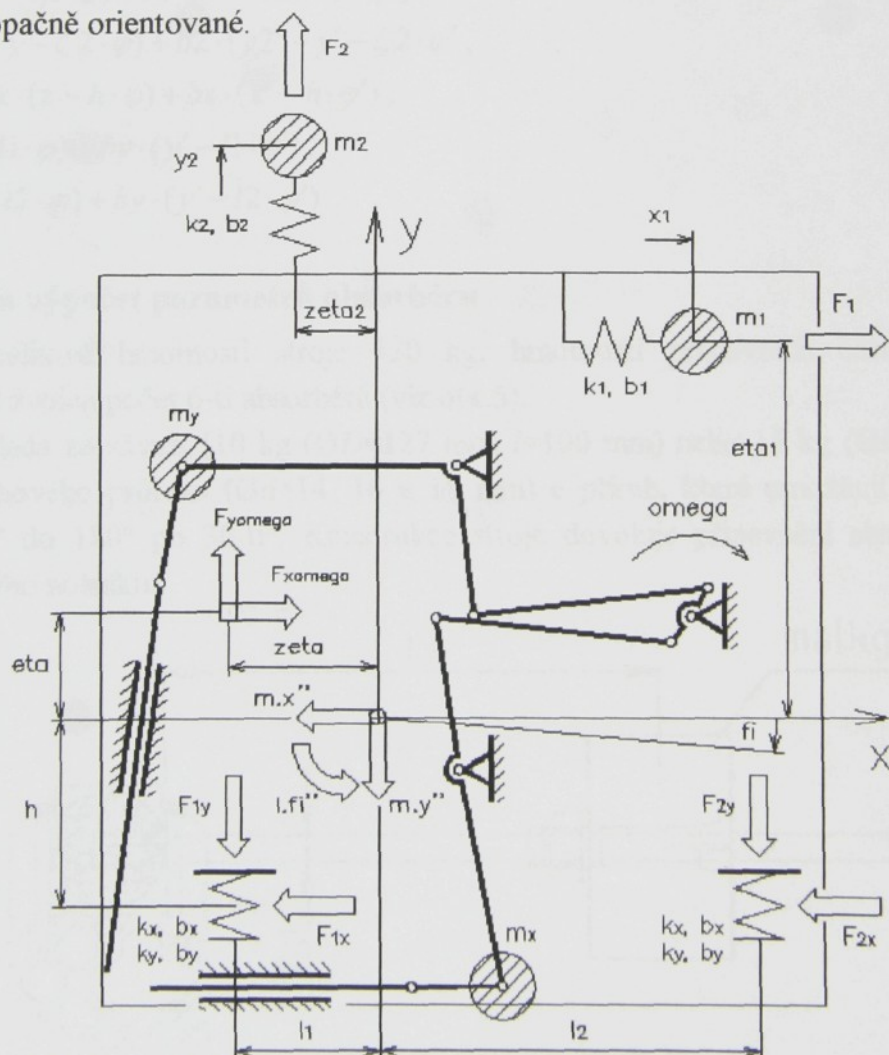
Princip stroje spočívá v kliko-vahadlovém mechanismu, tj. převedení rotačního pohybu na přímočarý vratný. Jelikož pracovní části jsou hmotné a vykonávají vratný pohyb, dochází ke vzniku silových, resp. momentových účinků na rám stroje. V tomto případě mají momenty v daném okamžiku stejný smysl a stroj vykazuje v provozním režimu značné vibrace, které omezují produkci celé výrobní linky.

Konstrukce těchto kladečů prošla určitým vývojem. Níže uvedené varianty kladečů jsou chronologicky seřazeny do jednotlivých kapitol a představují vývojové stupně od méně dokonalých až po variantu využívanou a prodávanou dodnes.

2.1 Kladeč využívající absorbéry kmitů

2.1.1 Dynamický model stroje

Tento kladeč využívá pružné připojení přídatných hmot ke stroji, tj. využívá principu absorberu kmitů. Parametry absorberů jsou nastaveny tak, aby síly, které vyvozují, byly stejně velké jako budící síly, ale opačně orientované. ⤴



Obr.4. Plošný model vibračního kladeče s absorbéry kmitů

Dynamický model pružně uloženého rovinného rámu s absorbéry ve dvou vzájemně kolmých rovinách má 5 stupňů volnosti se zobecněnými souřadnicemi posuvů:

- posuv x těžiště stroje ve vodorovném směru,
- posuv y těžiště stroje ve svislém směru,
- úhel φ naklopení stroje v rovině bočnice,
- posuv x_1 absorbérů kmitajících vodorovně,
- posuv y_2 absorbérů kmitajících svisle.

2.1.2 Soustava pohybových rovnic [2]

$$m \cdot x'' = Fx\omega + F1 - F1x - F2x, \quad (2)$$

$$m \cdot y'' = Fy\omega + F2 - F1y - F2y, \quad (3)$$

$$I \cdot \varphi'' = Fx\omega \cdot \eta + Fy\omega \cdot \zeta + (F1x + F2x) \cdot h - F1y \cdot l1 + F2y \cdot l2 + F1 \cdot \eta1 + F2 \cdot \zeta2, \quad (4)$$

$$m1 \cdot x1'' = -F1, \quad (5)$$

$$m2 \cdot y2'' = -F2, \quad (6)$$

$$Fx\omega = mx \cdot sx \cdot \omega^2 \cdot e^{j\omega t}, \quad (7)$$

$$Fy\omega = my \cdot sy \cdot \omega^2 \cdot e^{j\omega t}, \quad (8)$$

$$F1 = k1 \cdot (x1 - x - \eta1 \cdot \varphi) + b1 \cdot (x1' - x' - \eta1 \cdot \varphi'), \quad (9)$$

$$F2 = k2 \cdot (y2 - y - \zeta2 \cdot \varphi) + b2 \cdot (y2' - y' - \zeta2 \cdot \varphi'), \quad (10)$$

$$F1x = F2x = kx \cdot (x - h \cdot \varphi) + bx \cdot (x' - h \cdot \varphi'), \quad (11)$$

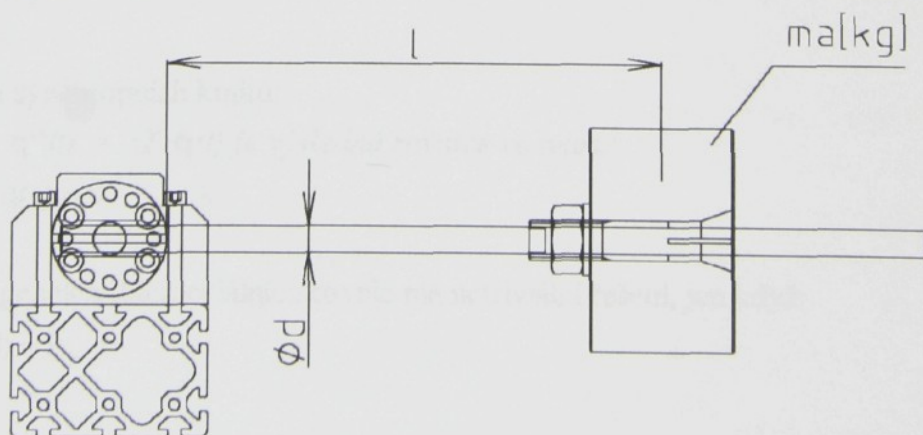
$$F1y = ky \cdot (y - l1 \cdot \varphi) + by \cdot (y' - l1 \cdot \varphi'), \quad (12)$$

$$F2y = ky \cdot (y - l2 \cdot \varphi) + by \cdot (y' - l2 \cdot \varphi'). \quad (13)$$

2.1.3 Návrh a výpočet parametrů absorbérů

Vzhledem k celkové hmotnosti stroje 450 kg, hmotnosti pracovních částí a prostorovým možnostem, byl zvolen počet 6-ti absorbérů (viz obr.5).

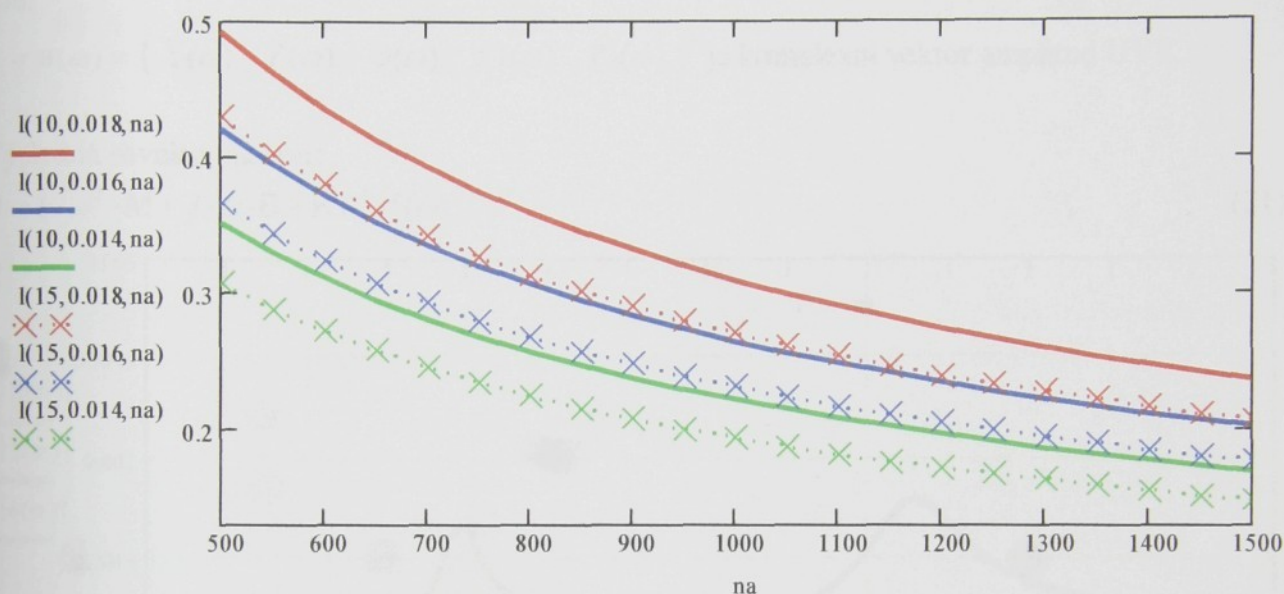
Absorbér se skládá ze závaží [10 kg ($\varnothing D=127$ mm, $l=100$ mm) nebo 15 kg ($\varnothing D=156$ mm, $l=100$ mm)], tyčí kruhového průřezu ($\varnothing d=14, 16$ a 18 mm) a přírub, které umožňují naklopení tyčí se závažími od 0° do 180° po 30 -ti $^\circ$. Konstrukce stroje dovoluje připevnění absorbérů v různých polohách příčného nosníku.



Obr.5. Výkres absorbérů kmitů

Závislost délky l [m] jednostranně vetknuté ocelové tyče ($\varnothing d=0,014; 0,016; 0,018$ m) s hmotou absorbéru na volném konci ($m_a=10; 15$ kg) na otáčkách stroje n_a [otáčky·min⁻¹] se vypočítá ze vztahu:

$$l(m_a, d, n_a) = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 30^2}{64 \cdot \pi} \cdot \frac{E \cdot d^4}{m_a \cdot n_a^2}} \quad \lambda = \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial l} = \frac{E \cdot J}{m \cdot l^3} \quad \frac{J}{64} \quad (14)$$



Obr.6. Závislost délky tyče na hmotnosti závaží m_a , průměru tyče $\varnothing d$ a otáčkách stroje n_a , resp. na provozní frekvenci pracovních elementů

2.1.4 Analytické řešení dynamického systému

Výpočet byl realizován v prostředí MathCad a je prezentován na obr.7 a v příloze č.1.

Soustavu pohybových diferenciálních rovnic (kap.2.1.2) lze zapsat do maticového tvaru:

$$\mathbf{M} \cdot \mathbf{q}'' + \mathbf{B} \cdot \mathbf{q}' + \mathbf{K} \cdot \mathbf{q} = \mathbf{f}(\omega) \cdot e^{j \cdot \omega \cdot t}, \text{ kde } j = \sqrt{-1}. \quad (15)$$

2.1.4.1 Výpočet vlastních frekvencí

Pro $\mathbf{B} = 0$, $\mathbf{f}(\omega) = 0$ je rovnice ve tvaru:

$$\mathbf{M} \cdot \mathbf{q}'' + \mathbf{K} \cdot \mathbf{q} = 0. \quad (16)$$

Za předpokladu synchronních kmitů:

$\mathbf{q}(t) = \mathbf{a} \cdot e^{j \omega t}$, $\mathbf{q}''(t) = -\Omega^2 \cdot \mathbf{q}(t)$ je výsledná rovnice ve tvaru:

$$(-\Omega^2 \cdot \mathbf{M} + \mathbf{K}) \cdot \mathbf{q}(t) = 0. \quad (17)$$

Soustava homogenních diferenciálních rovnic má netriviální řešení, jen když:

$$\text{Det}(\mathbf{K} - \Omega^2 \cdot \mathbf{M}) = 0. \quad (18)$$

2.1.4.2 Výpočet amplitud ustálených vynucených kmitů (UVK) při harmonickém buzení

$$\mathbf{M} \cdot \mathbf{q}'' + \mathbf{B} \cdot \mathbf{q}' + \mathbf{K} \cdot \mathbf{q} = \mathbf{f}(\omega) \cdot e^{j\omega t}. \quad (19)$$

Za předpokladu synchronních kmitů:

$\mathbf{q}(t) = \mathbf{a}(\omega) \cdot e^{j\omega t}$, $\mathbf{q}'(t) = j\omega \cdot \mathbf{q}(t)$, $\mathbf{q}''(t) = -\omega^2 \cdot \mathbf{q}(t)$ je výsledná rovnice ve tvaru:

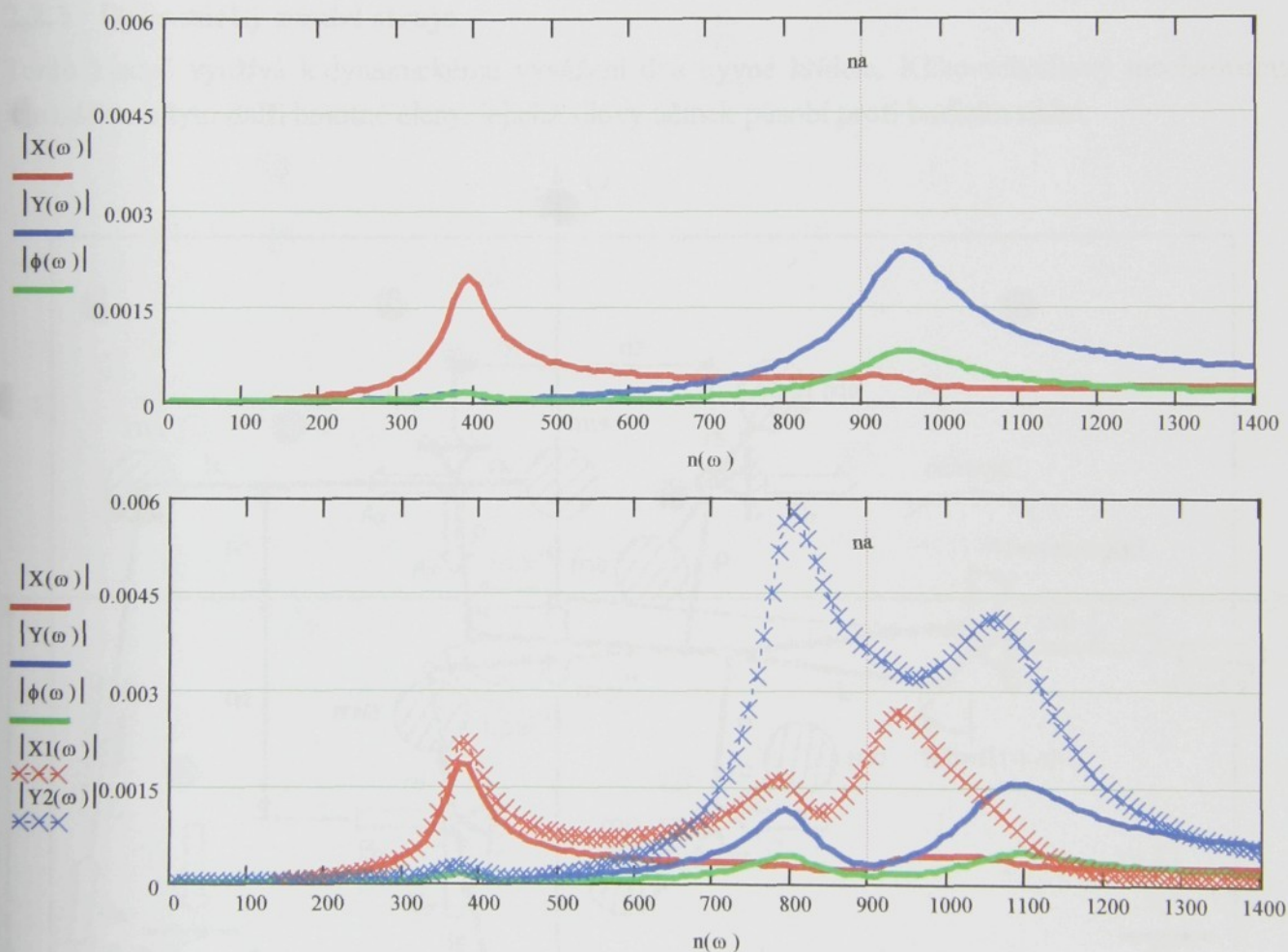
$$(-\omega^2 \cdot \mathbf{M} + j\omega \cdot \mathbf{B} + \mathbf{K}) \cdot \tilde{\mathbf{a}} \cdot e^{j\omega t} = \mathbf{f}(\omega) \cdot e^{j\omega t}, \quad (20)$$

kde:

$\tilde{\mathbf{a}} = \mathbf{a}(\omega) = \{ \tilde{X}(\omega) \quad \tilde{Y}(\omega) \quad \tilde{\Phi}(\omega) \quad X1(\omega) \quad Y1(\omega) \}^T$ je komplexní vektor amplitud UVK.

Výsledná rovnice má tvar:

$$\tilde{\mathbf{a}} = (-\omega^2 \cdot \mathbf{M} + j\omega \cdot \mathbf{B} + \mathbf{K})^{-1} \cdot \mathbf{f}(\omega). \quad (21)$$



Obr.7. Závislosti jednotlivých amplitud UVK na otáčkách stroje, resp. na provozní frekvenci pracovních elementů (hodnota provozních otáček $n_a = 900$ otáčky·min⁻¹.) Horní obrázek představuje závislosti amplitud bez použití absorbérů na stroji, dolní obrázek s použitím absorbérů

Poznámka:

Označení veličin ve výpočtu a grafickém znázornění:

$|X(\omega)|$ - absolutní hodnota amplitudy UVK stroje v ose x,

$|Y(\omega)|$ - absolutní hodnota amplitudy UVK stroje v ose y,

$|\Phi(\omega)|$ - absolutní hodnota amplitudy UVK stroje úhlu φ ,

$|X1(\omega)|$ - absolutní hodnota amplitudy UVK absorbéru v ose x ,

$|Y1(\omega)|$ - absolutní hodnota amplitudy UVK absorbéru v ose y .

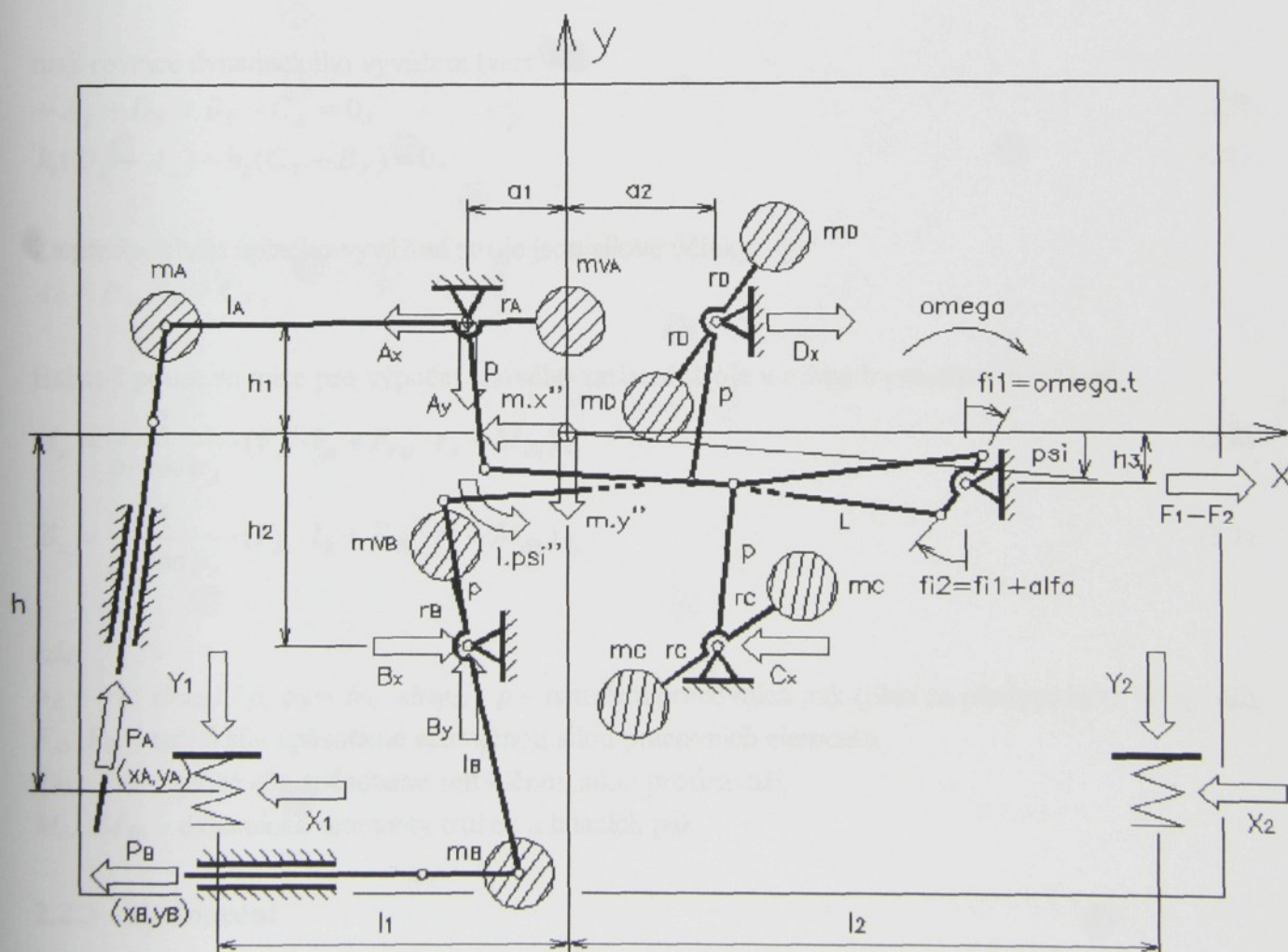
2.1.5 Hodnocení

Kladeč této prvotní konstrukce pracuje při předem zvolené a poté dodržované rychlosti spolehlivě. Nastavení soustavy absorbérů kmitů je prakticky snadné. Tímto ovšem výčet výhod končí. Největší nevýhodou této koncepce je časová náročnost přestavení absorbérů při změně provozní rychlosti, nemluvě o celkovém vzhledu stroje a možnosti úrazu o do prostoru vyčnívající, rezonující absorbéry.

2.2 Kladeč využívající kyvné vyvažovací hřídele

2.2.1 Dynamický model stroje

Tento kladeč využívá k dynamickému vyvážení dva kyvné hřídele. Kliko-vahadlový mechanismus je rozšířen o tyto další hmotné členy, jejichž silový účinek působí proti budícím silám.



Obr.8. Plošný model vibračního kladeče s kyvnými vyvažovacími hřídeli

Podmínky dynamického vyvážení:

1. Dynamické složky sil v podporách X_1, Y_1, X_2, Y_2 jsou nulové (podpory přenáší pouze statické účinky).
2. Dynamické síly musí splňovat 3 podmínky rovnováhy: $\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma M = 0$.

2.2.2 Soustava pohybových rovnic [3]

$$-A_X + D_X + B_X - C_X - P_B + P_A \cdot \sin \alpha_{PA} + F_1 - F_2 = 0, \quad (22)$$

$$-A_Y + B_Y + P_A \cdot \cos \alpha_{PA} = 0, \quad (23)$$

$$P_A(x_A \cdot \cos \alpha_{PA} - y_A \cdot \sin \alpha_{PA}) + P_B \cdot y_B + h_1(D_X - A_X) + h_2(C_X - B_X) + a_1(B_Y - A_Y) = 0, \quad (24)$$

Za předpokladu:

1. nulového tření v posuvných členech: $P_A = P_B = 0$,
2. vyvážení sil v uloženích A a B: $m_{VA} \cdot r_A = m_A \cdot l_A, m_{VB} \cdot r_B = m_B \cdot l_B$,
3. nehmotných ojnic $m_0 = 0$,

mají rovnice dynamického vyvážení tvar:

$$-A_X + D_X + B_X - C_X = 0, \quad (25)$$

$$h_1(D_X - A_X) + h_2(C_X - B_X) = 0. \quad (26)$$

Za předpokladu úplného vyvážení stroje jsou silové účinky:

$$A_X = D_X, B_X = C_X.$$

Existují pouze rovnice pro výpočet silového zatížení stroje v místech pracovních hřídelí:

$$A_x = \frac{1}{p \cdot \cos \varphi_A} \cdot (F_{At} \cdot l_A + F_{VAAt} \cdot r_A + M_{dA}), \quad (27)$$

$$B_x = \frac{1}{p \cdot \cos \varphi_B} \cdot (F_{Bt} \cdot l_B + F_{VBA} \cdot r_B + M_{dB}), \quad (28)$$

kde:

$\varphi_A = (r_0 \cdot \sin \varphi_1) / p, \varphi_B = (r_0 \cdot \sin \varphi_2) / p$ – natočení pracovních pák (platí za předpokladu, že $r_0 \ll L$),

F_{At}, F_{Bt} – tečné síly způsobené setrvačnou silou pracovních elementů,

F_{VAAt}, F_{VBA} – tečné síly způsobené setrvačnou silou protizávaží,

M_{dA}, M_{dB} – dynamické momenty trubek a hnacích pák.

2.2.3 Hodnocení

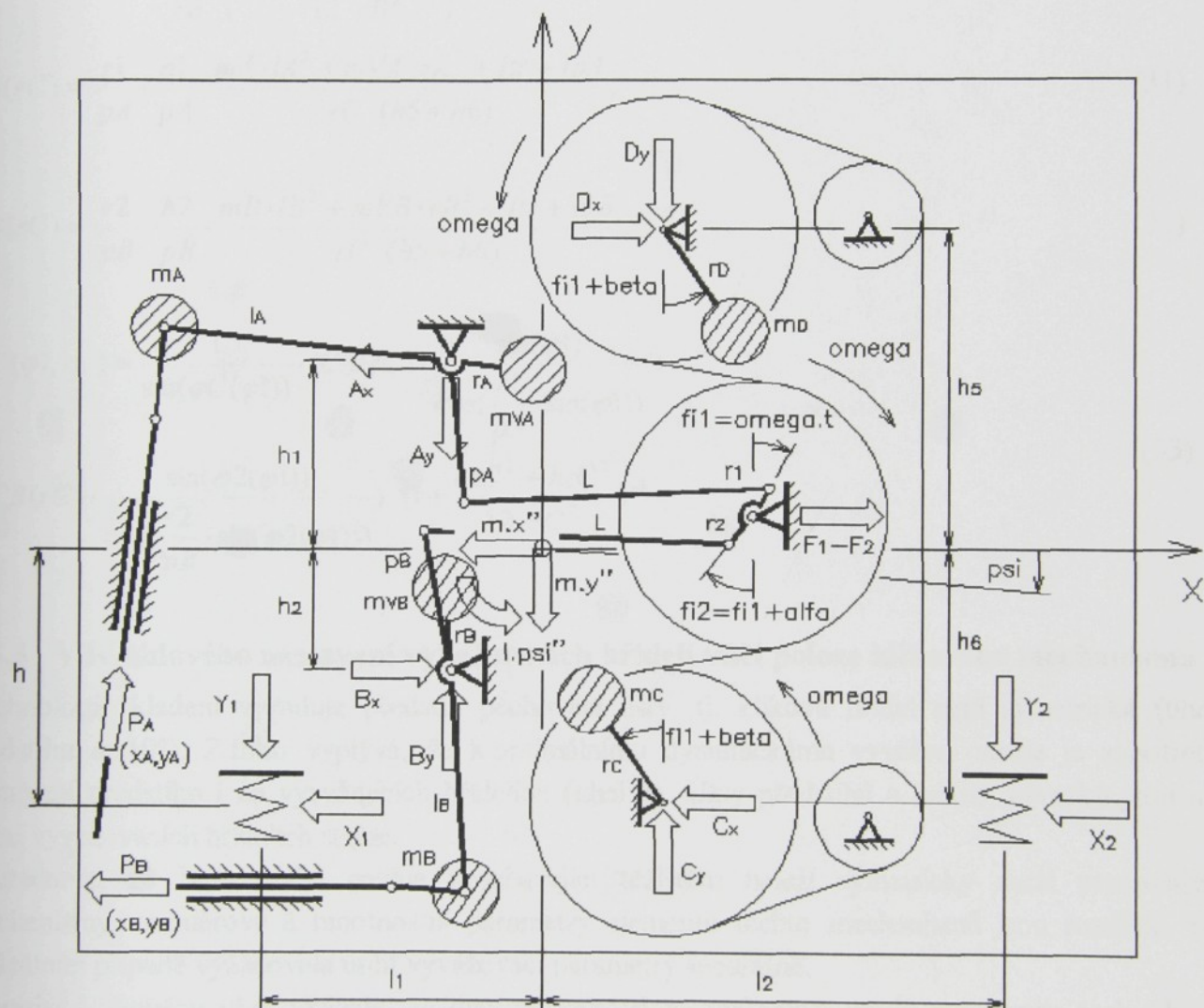
Na rozdíl od prvního konceptu stroje s absorberý kmitů, tento kladeč pracoval jako dynamicky vyvážený stroj při jakékoliv provozní rychlosti. Nevýhodou bylo velké zatížení pohonného klikového mechanismu, který poháněl jak pracovní elementy pilky a lišty, tak i vyvažovací hřídele. Vzhledem k celkovému uspořádání a kinematickým možnostem stroje nebylo možné dostatečně

tento mechanismus dimenzovat. Životnost mechanismu a tím i stroje byla malá. Řešením bylo použití ložisek s vysokou životností a omezení provozních otáček stroje pod $800 \text{ otáčky} \cdot \text{min}^{-1}$.

2.3 Kladeč využívající rotační vyvažovací hřídele

2.3.1 Dynamický model stroje

Tento kladeč využívá k dynamickému vyvážení dva rotující hřídele. Odstředivá síla hmot připevněných na rotujících hřídelích působí proti budícím silám.



Obr.9. Plošný model vibračního kladeče s rotačními vyvažovacími hřídeli

Podmínky dynamického vyvážení:

1. Dynamické složky sil v podporách $X1$, $Y1$, $X2$, $Y2$ jsou nulové (podpory přenášejí pouze statické účinky).
2. Dynamické síly musí splňovat 3 podmínky rovnováhy: $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum M = 0$.

2.3.2 Soustava rovnic stanovující optimální hmotnosti vývažků [4]

Výpočet optimálního vyvážení stroje se soustřeďuje na stanovení hodnot m_{VA} , r_A , m_{VB} , r_B , m_C , resp. m_D . Postup je následující:

$$m_{VA}(r_A) = m_A \cdot \frac{l_A}{r_A} \cdot \left(1 + \frac{bz_A^2 + hz_A^2}{12 \cdot r_A^2} \right)^{-1}, \quad (29)$$

$$m_{VB}(r_B) = m_B \cdot \frac{l_B}{r_B} \cdot \left(1 + \frac{bz_B^2 + hz_B^2}{12 \cdot r_B^2} \right)^{-1}, \quad (30)$$

$$CA(r_C) = \frac{r_1}{p_A} \cdot \frac{h_1}{p_A} \cdot \frac{m_A \cdot l_A^2 + m_{VA} \cdot r_A^2 + I_{tr} + I_{pA}}{r_C \cdot (h_5 + h_6)}, \quad (31)$$

$$CB(r_C) = \frac{r_2}{p_B} \cdot \frac{h_2}{p_B} \cdot \frac{m_B \cdot l_B^2 + m_{VB} \cdot r_B^2 + I_{tr} + I_{pB}}{r_C \cdot (h_5 + h_6)}, \quad (32)$$

$$m_C(\varphi_1, r_C) = \frac{1}{\sin(\varphi_C(\varphi_1))} \cdot (CA(r_C) \cdot \frac{\sin(\varphi_1)}{\cos(\frac{r_1}{p_A} \cdot \sin(\varphi_1))} + CB(r_C) \cdot \frac{\sin(\varphi_2(\varphi_1))}{\cos(\frac{r_2}{p_B} \cdot \sin(\varphi_2(\varphi_1)))}) \cdot \left(1 + \frac{bz_C^2 + hz_C^2}{12 \cdot r_C^2} \right)^{-1}. \quad (33)$$

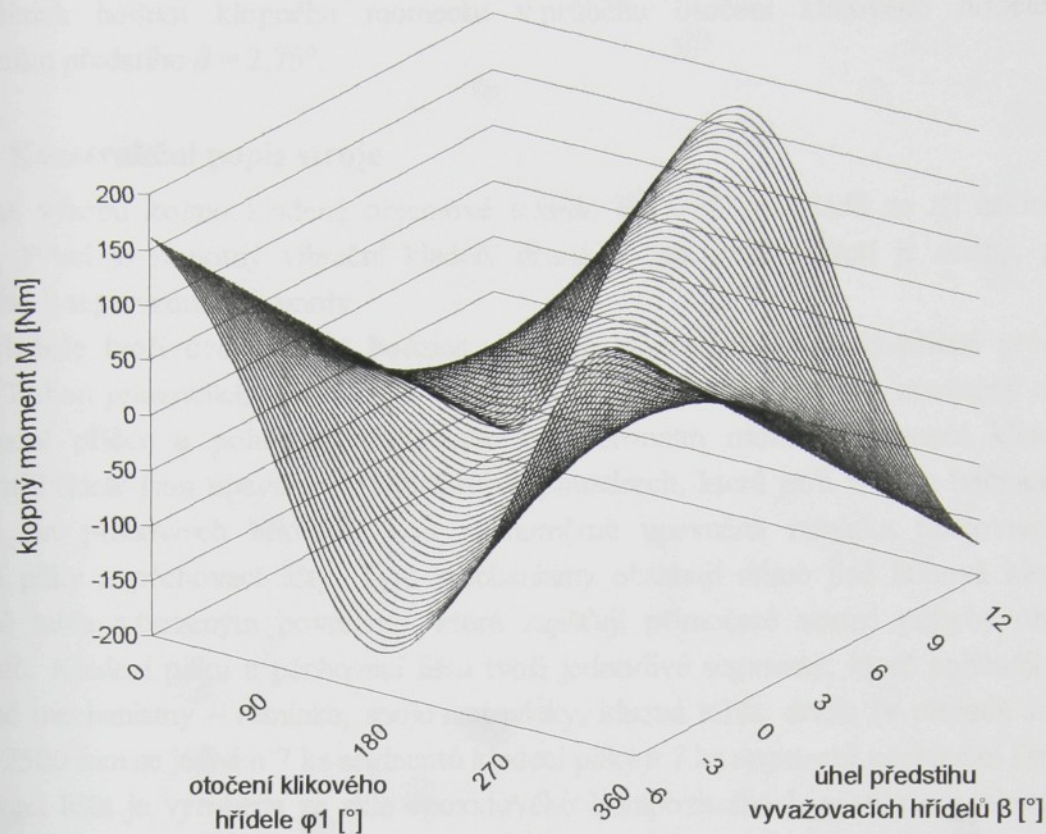
2.3.3 Vliv úhlového nastavení vyvažovacích hřídelí vůči poloze klikového mechanismu

Technologie kladení vyžaduje předstih pěchovací lišty, tj. kliková hřídel není symetrická (úhel předstihu $\alpha=10^\circ$). Z toho vyplývá, že k optimálnímu dynamickému vyvážení stroje je zapotřebí nastavení předstihu i na vyvažujících hřídelích (úhel β). Úhly předstihů a hmoty vývažků jsou na obou vyvažovacích hřídelích stejné.

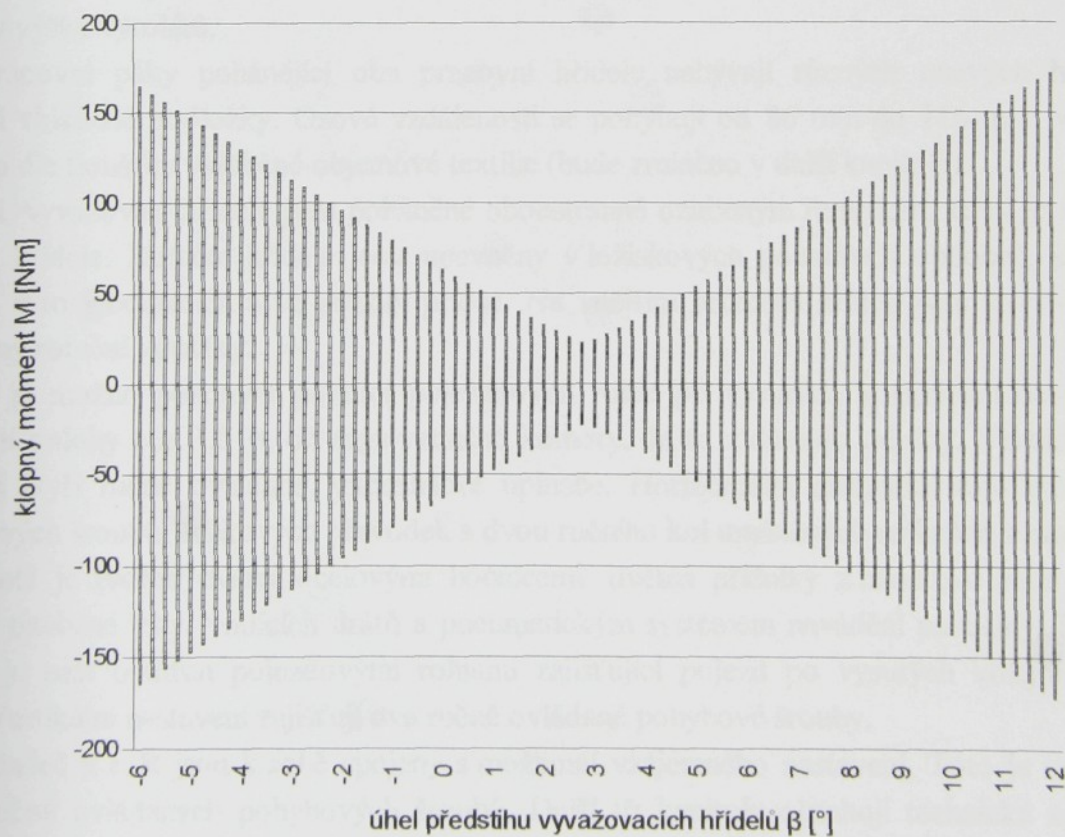
Skutečnost, že horizontální rovina procházející těžištěm neleží symetricky mezi pracovními mechanismy, rozměrové a hmotnostní parametry elementů těchto mechanismů jsou rozdílné, by v ideálním případě vyžadovala určit vyvažovací parametry separátně.

Empirické zkoušky však ukázaly, že dílčí zůstatková nevyváženost stroje neomezuje technologii kladení. Lze též konstatovat, že sjednocením vyvažovacích parametrů se zjednoduší výpočet, výroba vývažků, montáž a celkové seřízení stroje.

3D grafické znázornění (obr.10 a obr.11) představuje závislost klopného momentu M [Nm] (otáčky klikového hřídele $n = 1000$ otáčky·min⁻¹, osová vzdálenost pracovních pák $p_A = p_B = 86$ mm, hmotnost rotačních vývažků $m_C = m_D = 8$ kg) na úhlové výchylce klikového hřídele φ_1 [°] a úhlu předstihu vyvažovacích hřídelí β [°] (viz příloha č.2A a č.2B).



Obr.10. Závislost klopného momentu M [Nm] na otočení klikového hřídele ϕ_1 [°] a úhlu předstihu vyvažovacích hřídelí β [°]



Obr.11. Závislost klopného momentu M [Nm] na úhlu předstihu vyvažovacích hřídelí β [°]

Minimálních hodnot klopného momentu v průběhu otočení klikového hřídele je dosaženo nastavením předstihu $\beta = 2,75^\circ$.

2.3.4 Konstrukční popis stroje

Stroj na výrobu kolmo kladené objemové textilie KV3-06 se skládá ze tří základních strojních skupin. První je samotný vibrační kladeč, druhá je tzv. rošt a třetí je nosný, pojezdový rám upevněný k teplovzdušné komoře.

Rám kladeče tvoří dvě ocelové bočnice, ocelová střední příčka a tři příčné profily z hliníkové slitiny. Pohon pracovních hřídelí zajišťuje kliko-vahadlový mechanismus upevněný uprostřed stroje na střední příčce a poháněný třífázovým asynchronním motorem pomocí klínových řemenů. Pracovní hřídele jsou upevněny v ložiskových pouzdrech, která jsou v obou bočnicích a ve střední příčce. Na pracovních hřídelích jsou rovnoměrně upevněna ramínka pracovních mechanismů kladečí pilky a pěchovací lišty. Tyto mechanismy obsahují mimo jiné litinová kluzná pouzdra a ocelová táhla s tvrzeným povrchem, která zajišťují přímočaré vratné pohyby obou pracovních elementů. Kladečí pilku a pěchovací lištu tvoří jednotlivé segmenty, které pohánějí vždy dva výše zmíněné mechanismy – ramínka, spojovací pásky, kluzná táhla, držák (v případě stroje s pracovní šířkou 2500 mm se jedná o 7 ks segmentů kladečí pilky a 7 ks segmentů pěchovací lišty).

Pěchovací lišta je vyrobena ze sklo-epoxidového kompozitního L-profilu a ocelových jehel, které jsou přichyceny na čelní stěnu profilu. Při výrobě rozdílných výšek výrobků se používá čtyř výškově rozdílných sad lišt. Při změně technologie se musí sada lišt ručně na stroji vyměnit. Kladečí pilka je vyrobena z laminátu s povrchem pokoveném mědí. V dolní části pilky je přinýtován pilkový plát s rovnoměrným zubovým profilem. Kladečí pilka zůstává stejná pro všechny výšky výrobků.

Pracovní páky pohánějící oba pracovní hřídele nabývají různých osových hodnot. Toto zajišťují vkládané podložky. Osové vzdálenosti se pohybují od 86 mm do 116 mm, vždy po 10-ti mm a to dle tloušťky vyráběné objemové textilie (bude zmíněno v další kapitole).

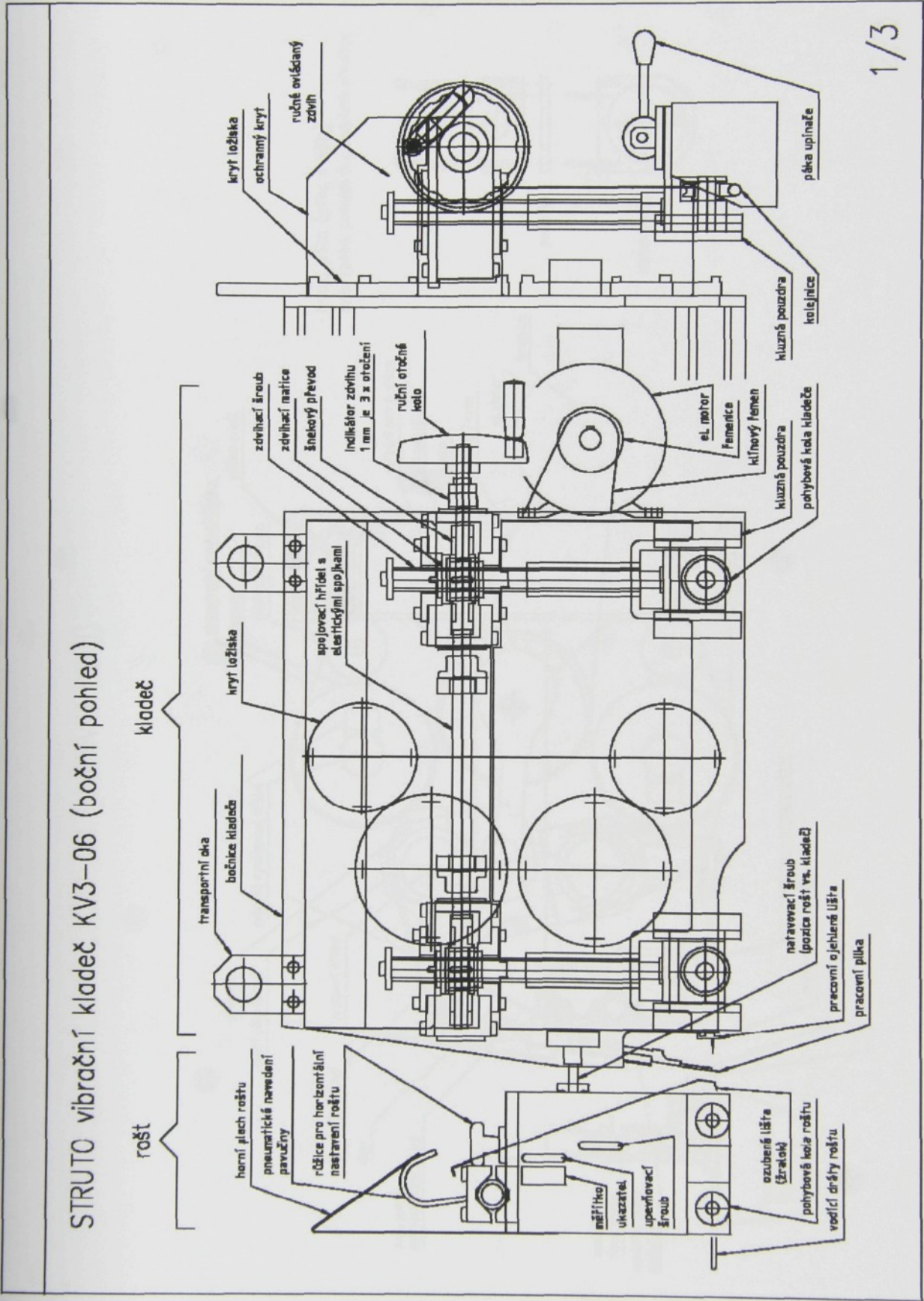
Rotační, vyvažovací hřídele jsou poháněné oboustranně ozubeným řemenem, který je spojen s osou klikové hřídele. Rotační hřídele jsou upevněny v ložiskových pouzdrech obdobně, jako pracovní hřídele, a to v bočnicích a ve střední příčce. Na vnějším průměru hřídelí jsou šroubovým spojem upevněny rotační vývažky.

Kladeč je možno posouvat pomocí pojezdových rolen po vysutých kolejnicích nosného rámu z pracovní polohy cca 1,5 m od teplovzdušné komory. Je to z důvodu údržby. Vertikální upevnění zajišťují čtyři ručně ovládané, excentrické upínače. Horizontální nastavení zajišťuje systém čtyř trapézových šroubů, šnekových převodek a dvou ručního kol umístěných na každé straně kladeče.

Rošt je tvořen dvěma ocelovými bočnicemi, dvěma příčníky z hliníkové slitiny, spádových plechů, ozubené lišty, vodících drátů a pneumatickým systémem navádění pavučiny. Podobně jako kladeč je rošt opatřen pojezdovými rolnami zajišťující pojezd po vysutých kolejnicích nosného rámu. Vertikální nastavení zajišťují dva ručně ovládané pohybové šrouby.

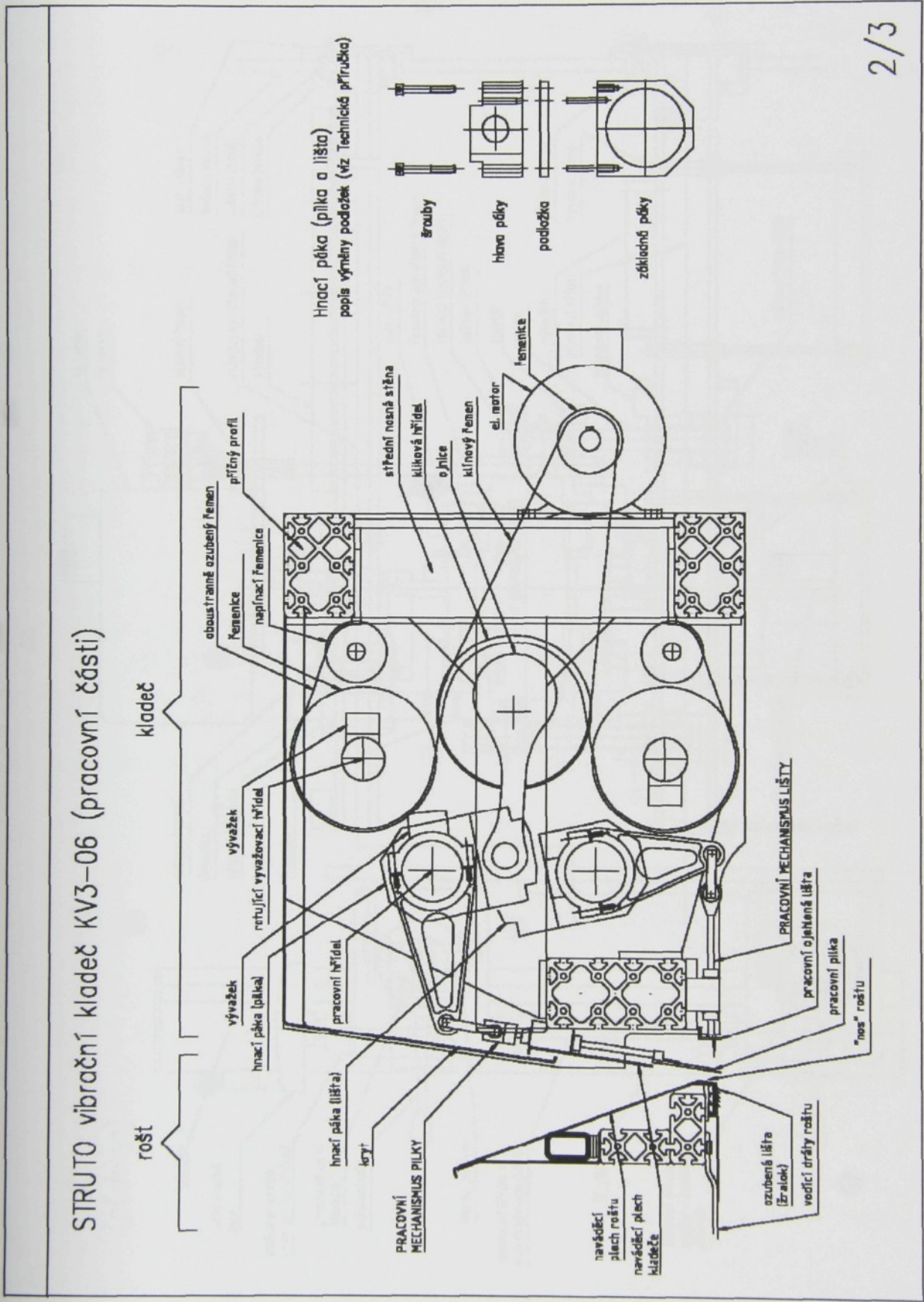
Kladeč a rošt jsou k sobě spojeny s možností vzájemného nastavení. Toto je možné pomocí dvou ručně ovládaných pohybových šroubů. Další tři kapitoly obsahují technická schémata výše zmíněných strojních skupin (viz obr.12-14).

2.3.4.1 Horizontální a vertikální seřízení



Obr.12. Bokorys stroje s detailem horizontálního a vertikálního seřízení

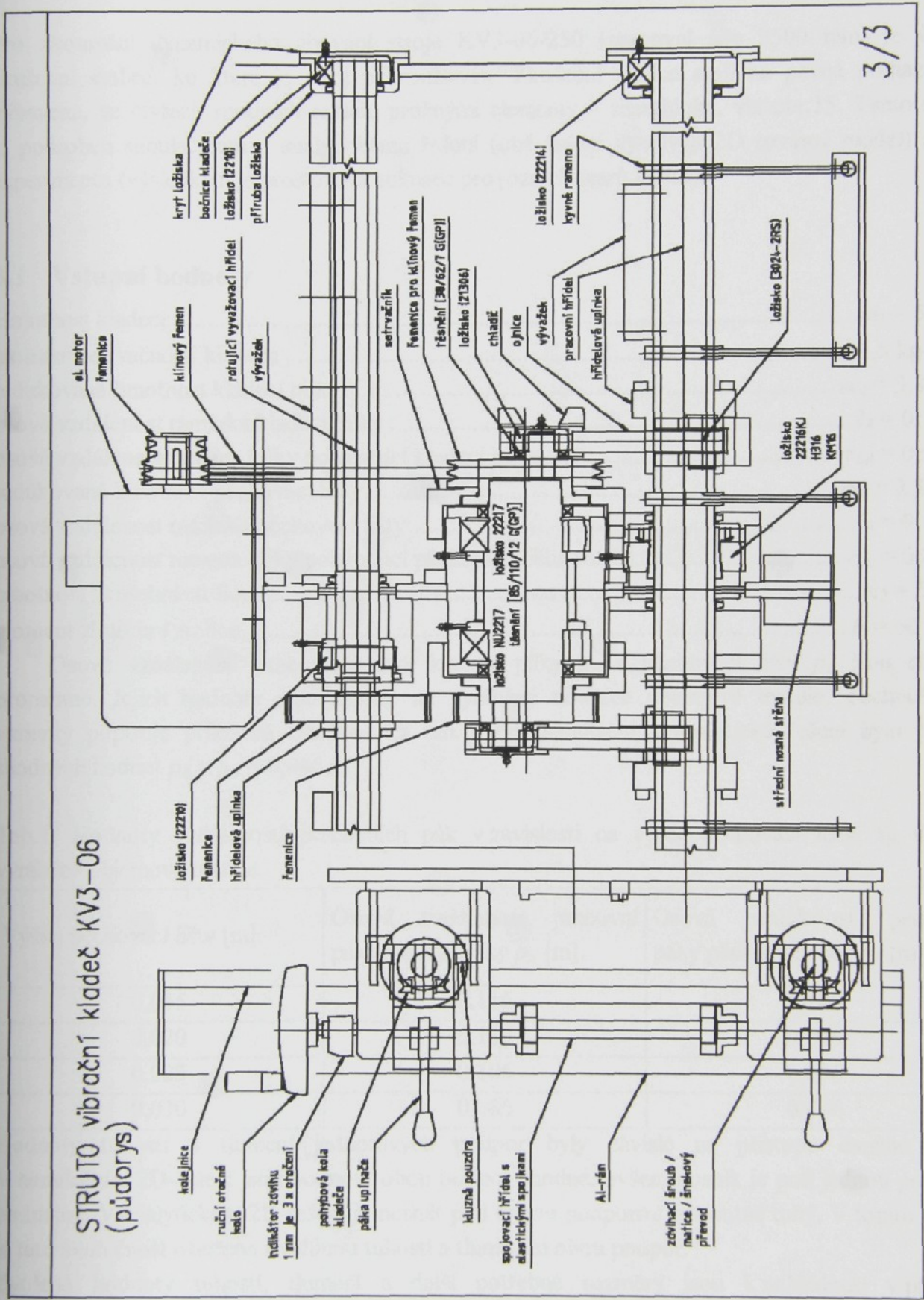
2.3.4.2 Pracovní mechanismus



2/3

Obr.13. Boční řez strojem s detailem uspořádání pracovního mechanismu

2.3.4.3 Pohonné ústrojí



Obr.14. Půdorys stroje s detailem pohonného ústrojí, uchycení pracovních a vyvažovacích hřídelí a horizontálního a vertikálního seřízení

3 VÝPOČET DYNAMICKÉHO CHOVÁNÍ STROJE KV3-06-250

Pro zkoumání dynamického chování stroje KV3-06-250 (pracovní šíře 2500 mm) je využito zkušební stolice, ke které je stroj přišroubován. Zkušební stolice stojí na pevné podlaze a je vybavena, ve čtyřech spodních rozích, pružnými elementy – silentbloky, viz obr.15. Tento systém je podroben simulačnímu a analytickému řešení (obě řešení využívají 2D rovinný model) a poté experimentu (výsledkem je prostorová animace provozních tvarů kmitů).

3.1 Vstupní hodnoty

Hmotnost kladeče $m_1 = 550$ kg,
moment setrvačnosti kladeče $I_1 = 31,5$ kg·m²,
redukováná hmotnost kladecí pilky $m_A = 3,876$ kg,
osová vzdálenost ramínka kladecí pilky $l_A = 0,175$ m,
osová vzdálenost ramena kliky pohánějící kladecí pilku..... $r_{0A} = 0,019$ m,
redukováná hmotnost pěchovací lišty $m_B = 2,875$ kg,
osová vzdálenost ramínka pěchovací lišty $l_B = 0,135$ m,
osová vzdálenost ramena kliky pohánějící pěchovací lištu $r_{0B} = 0,023$ m,
hmotnost zkušební stolice $m_2 = 500$ kg,
moment zkušební stolice $I_2 = 60$ kg·m².

Osové vzdálenosti pracovních pák kladecí pilky p_A a pěchovací lišty p_B jsou skokově proměnné. Jejich hodnoty jsou závislé na vyráběné tloušťce objemové textilie. Technologické varianty popisuje přiložená tabulka, viz tab.1. Pro simulační a analytické řešení bylo použito shodných hodnot $p_A = p_B = 0,086$ m.

Tab.1. Hodnoty vzdáleností pracovních pák v závislosti na výšce pěchovací lišty, tj. tloušťce vyráběné objemové textilie

Výška pěchovací lišty [m].	Osová vzdálenost pracovní páky kladecí pilky p_A [m].	Osová vzdálenost pracovní páky pěchovací lišty p_B [m].
0,015	0,116	0,106
0,020	0,116	0,096
0,025	0,106	0,096
0,030	0,086	0,086

Hodnoty tuhostí a tlumení jednotlivých podpor byly závislé na přístupu daného řešení. V simulačním 2D-řešení jsou hodnoty obou podpor shodné, ovšem nosník je pod jednou podporou poddajný. V analytickém 2D-řešení je nosník pod danou podporou absolutně tuhý. V tomto případě je tato skutečnost ošetřena rozdílnou tuhostí a tlumením obou podpor.

Zvolené hodnoty tuhostí, tlumení a další potřebné rozměry jsou k nahlédnutí v přílohách konkrétních řešení.

3.2 Simulační řešení

3.2.1 Základní parametry nastavení [5]

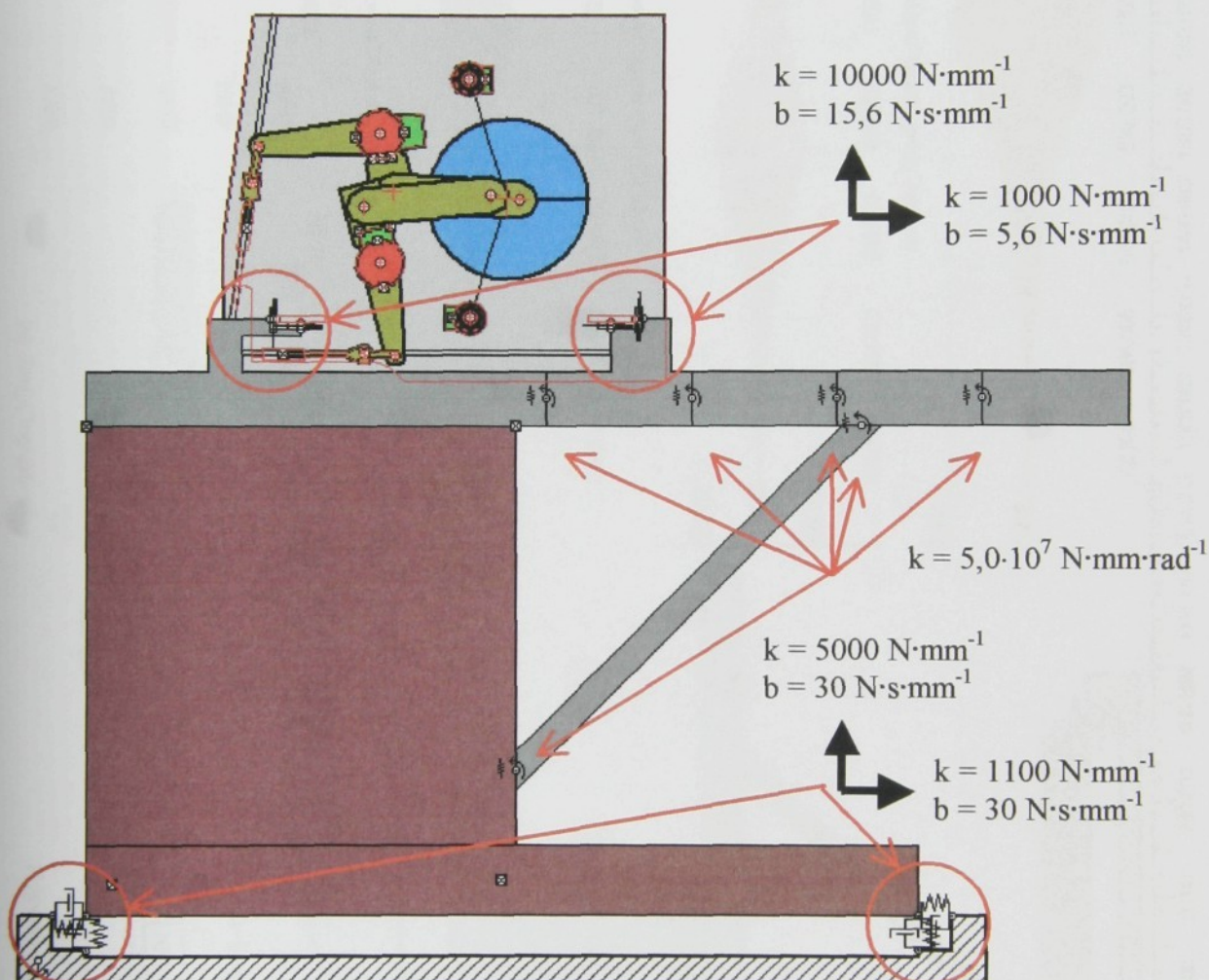
Výpočet byl realizován v prostředí WorkingModel 2D 5.0 (jedná se o řešení rovinného modelu).

Gravitace $9806,650 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-2}$.

Simulační přesnost přesná (metoda Kutta-Merson).

Integrační krok $0,01 \text{ s}$ (počáteční, během simulace není pevný).

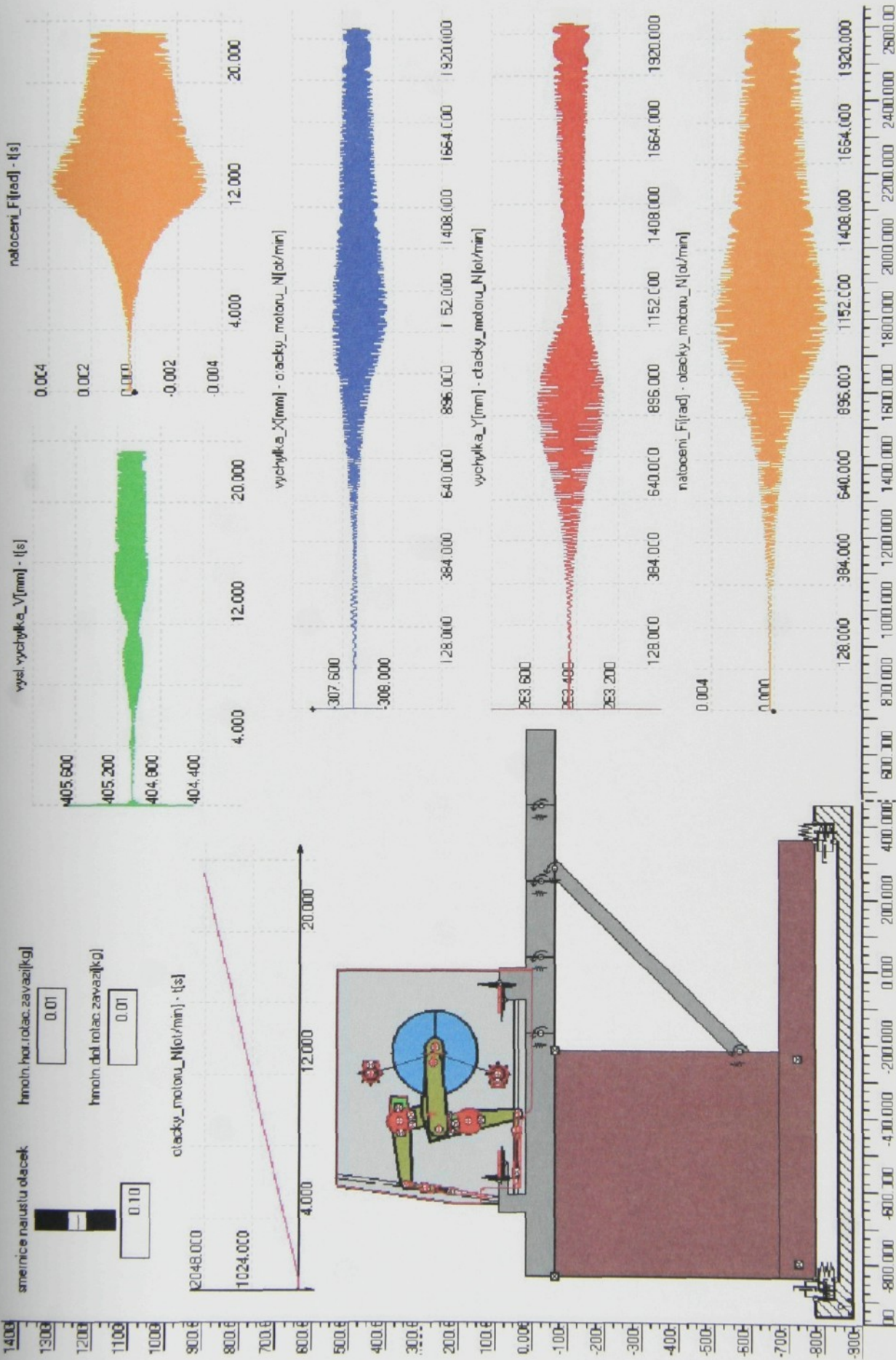
3.2.2 Hodnoty tuhostí a tlumení



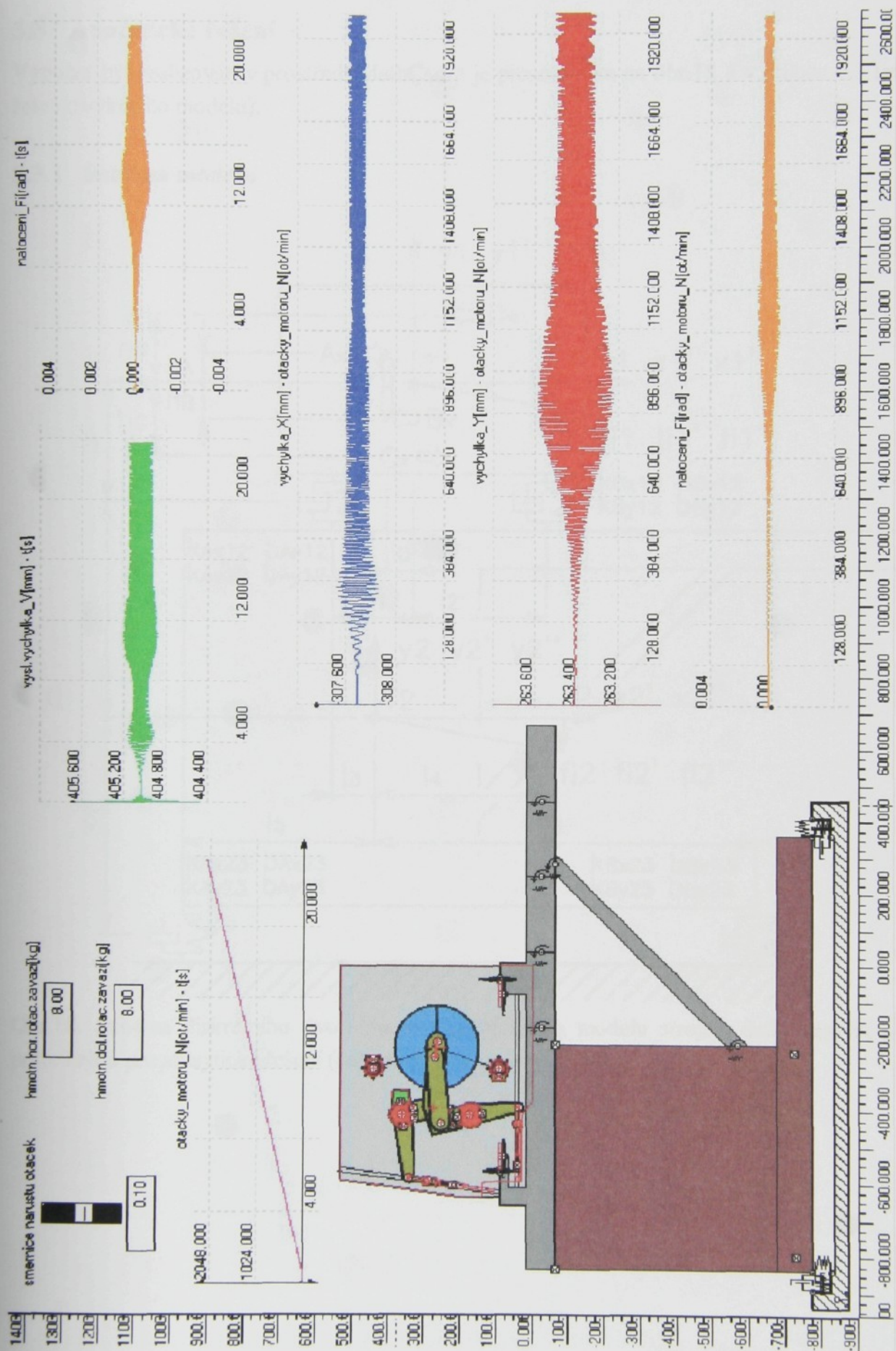
Obr.15. Dynamický model v prostředí WM2D s nastavenými parametry tuhostí a tlumení. Plošné obrazce představují tuhá tělesa se skutečnými rozměry (rozlišeny barvou). V těžištích obrazců jsou definovány skutečné hmotnosti a momenty setrvačnosti.

3.2.3 Výsledné hodnoty amplitud kmitů

Jsou sledovány výchylky rámu stroje ve směru $X[\text{mm}]$, $Y[\text{mm}]$ a jeho natočení φ [rad] v závislosti na otáčkách klikové hřídele, resp. hnacího motoru. Pro simulaci je použita náběhová rampa z 0 do $2000 \text{ otáček}\cdot\text{min}^{-1}$, která startuje po uplynutí času $0,5 \text{ s}$. Během této prodlevy systém zaujme statickou polohu. Velikost směrnice náběhové rampy lze měnit. Pro zjištění optimálních průběhů výchylek a natočení je vhodné volit parametr směrnice tak, aby na konci rampy ($2000 \text{ otáček}\cdot\text{min}^{-1}$) byl čas simulace minimálně 20 s .



Obr.16. Výchyly kladeče X [mm], Y [mm] a F_i [rad] s hmotností rotujících vývažků 0,01 kg

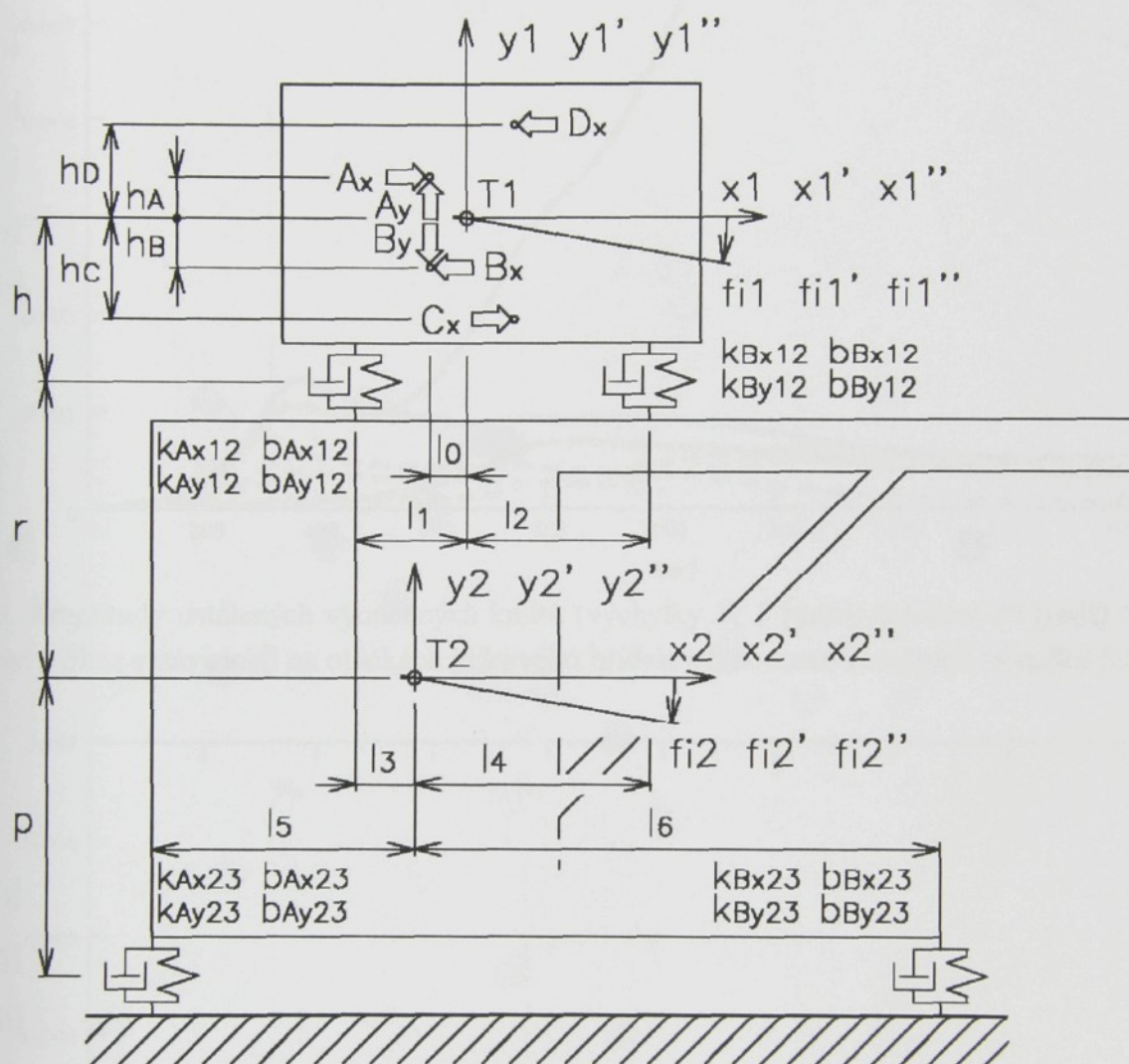


Obr.17. Výchylky kladeče X [mm], Y [mm] a F_i [rad] s hmotností rotujících vývažků 8,00 kg

3.3 Analytické řešení

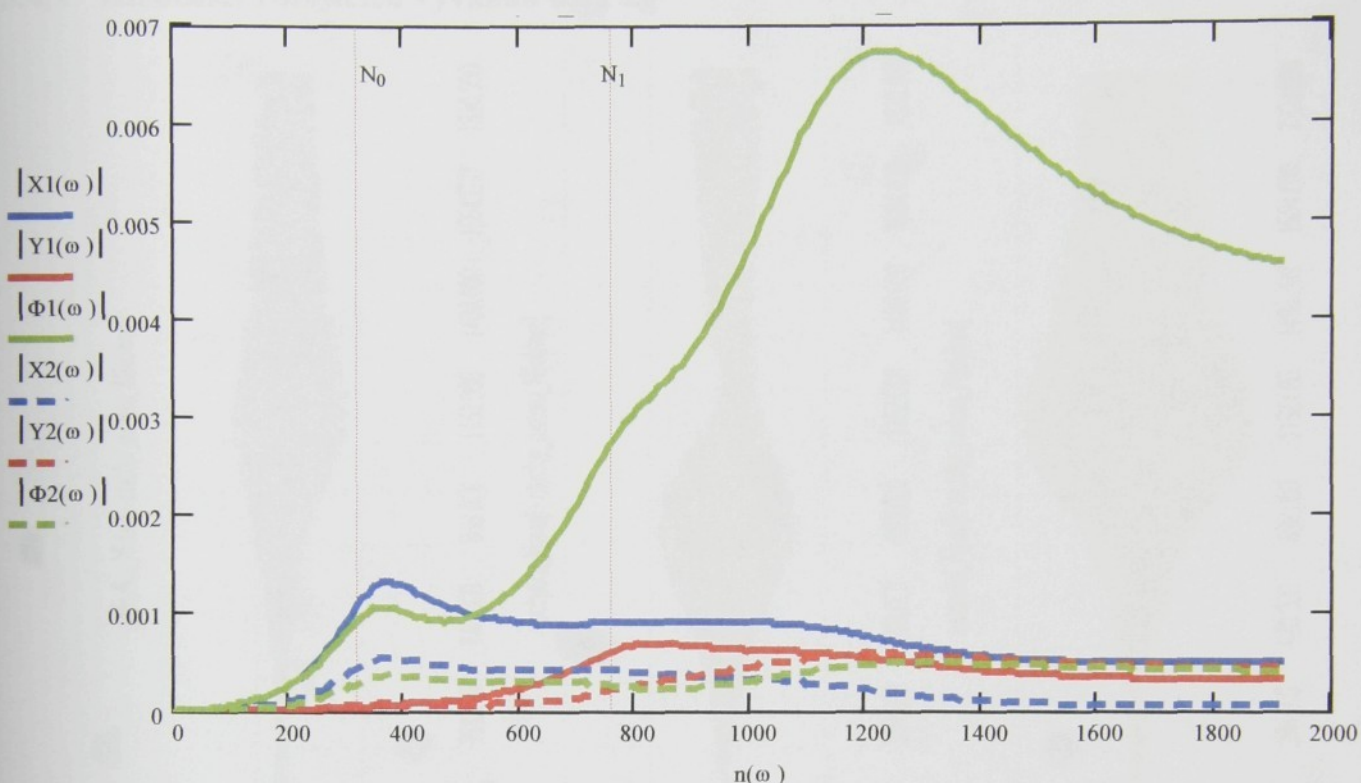
Výpočet byl realizován v prostředí MathCad a je prezentován na obr.18 a v příloze č.3 (jedná se o řešení rovinného modelu).

3.3.1 Schéma modelu

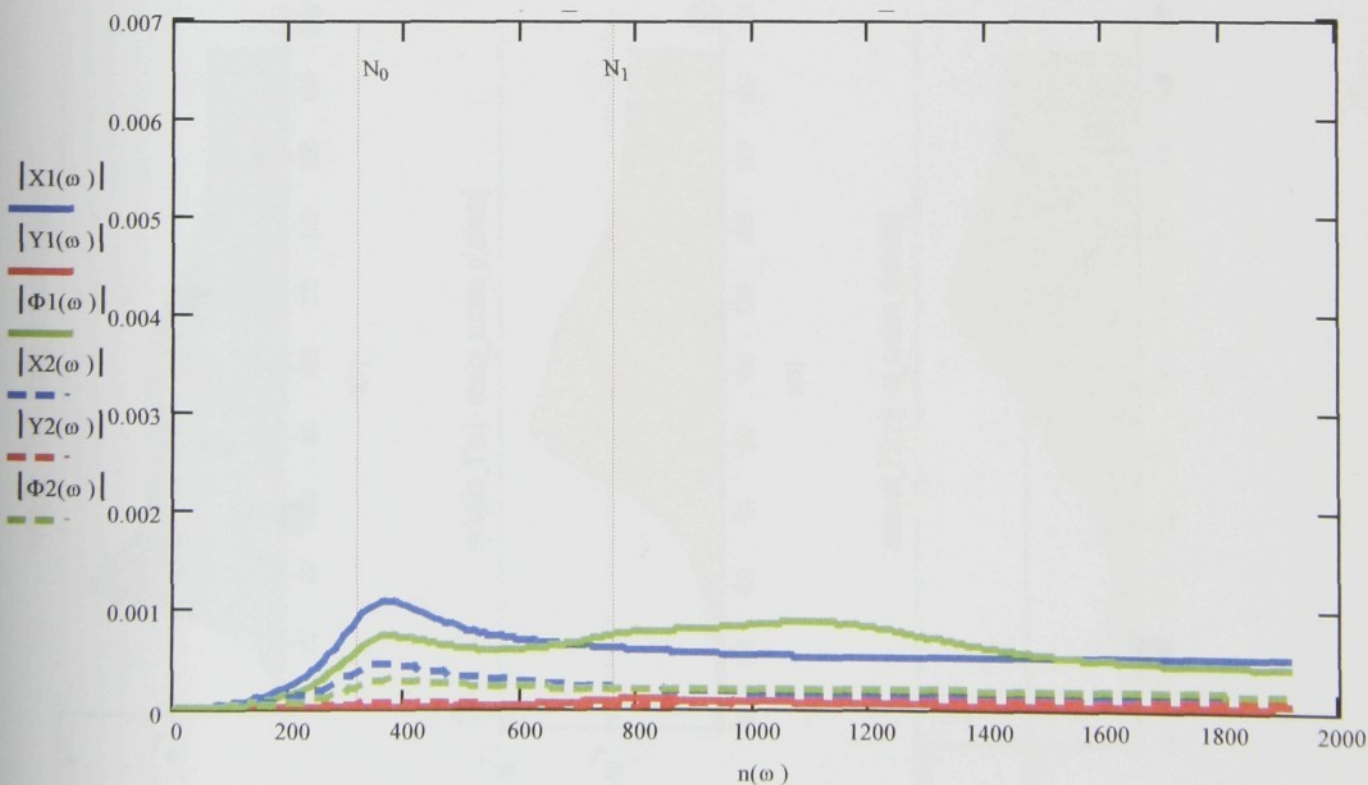


Obr.18. Schéma diskrétního dvou-hmotového plošného modelu stroje s definovanými parametry potřebnými pro analytické řešení (celkem 6° volnosti)

3.3.2 Amplitudy ustálených vynucených kmitů



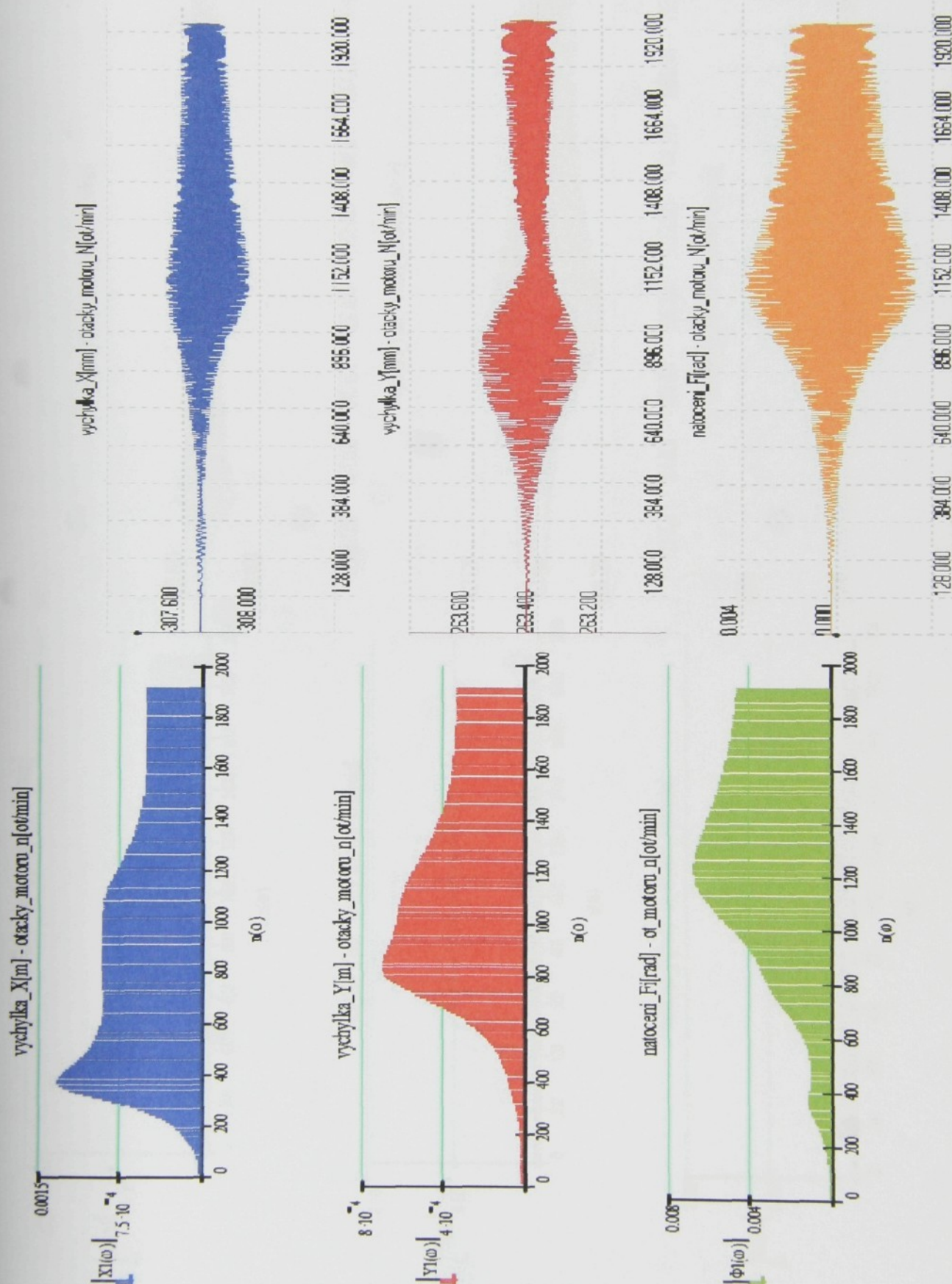
Obr.19. Amplitudy ustálených vynucených kmitů (výchyly X, Y [mm], natočení Φ [rad]) kladeče a zkušební stolice v závislosti na otáčkách klikového hřídele s hmotností rotujících vývažků 0,01 kg



Obr.20. Amplitudy ustálených vynucených kmitů (výchyly X, Y [mm], natočení Φ [rad]) kladeče a zkušební stolice v závislosti na otáčkách klikového hřídele s hmotností rotujících vývažků 8,00 kg

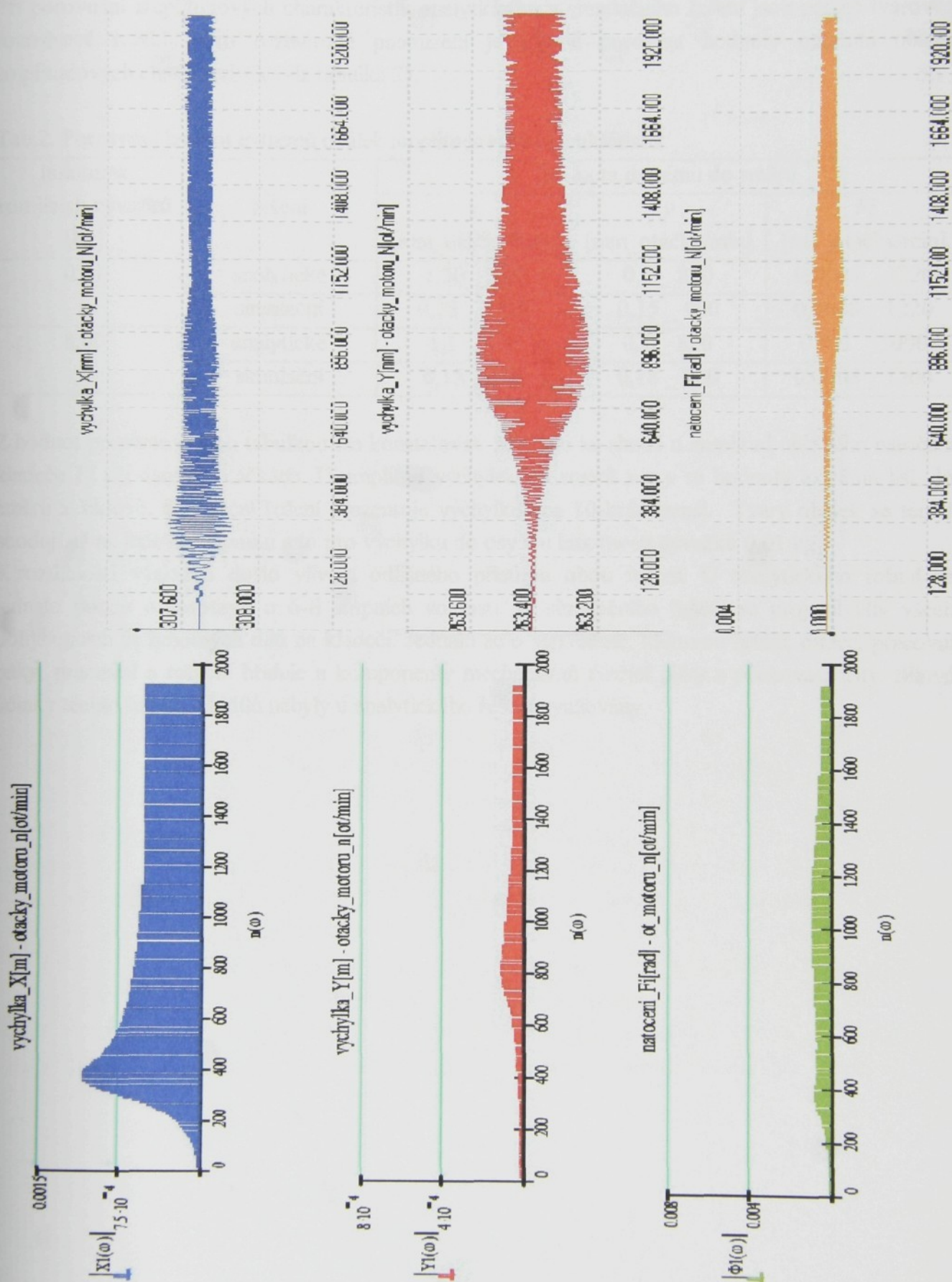
3.4 Porovnání výsledků analytického a simulačního řešení

3.4.1 Hmotnost rotujících vývažků 0,01 kg



Obr.21. Porovnání amplitud kmitů analytického a simulačního řešení

3.4.2 Hmotnost rotujících vývažků 8,00 kg



Obr.22. Porovnání amplitud kmitů analytického a simulačního řešení

3.4.3 Hodnocení

Při porovnání amplitudových charakteristik analytického a simulačního řešení jsou patrné tvarové i rozměrové rozdíly. Pro rozměrové posouzení je možné porovnat hodnoty extrémů obálek amplitudových charakteristik (viz tabulka 2).

Tab.2. Porovnání hodnot extrémů obálek amplitudových charakteristik

hmotnost rotujících vývažků [kg]	řešení	hodnota extrému do směru		
		<i>x</i> [mm_otáčky/min]	<i>y</i> [mm_otáčky/min]	<i>F_i</i> [rad_otáčky/min]
0,01	analytické	1,30 _ 380	0,7 _ 820	0,0065 _ 1220
	simulační	0,25 _ 1220	0,15 _ 900	0,0038 _ 1220
8,00	analytické	1,1 _ 380	0,1 _ 820	0,001 _ 1000
	simulační	0,15 _ 350	0,18 _ 900	0,0008 _ 1200

Z hodnot prezentovaných tabulkou lze konstatovat, že došlo ke shodě u amplitud úhlového natočení kladeče *F_i* při daných otáčkách. U amplitud výchylek do směrů *x* a *y* se hodnoty extrémů liší, do směru *x* řádově. Simulační řešení prezentuje výchylku cca 10-krát menší. Tvary obálek se téměř shodují až na jedinou výjimku a to pro výchylku do osy *x* u hmotnosti vývažků 0,01 kg. K rozdílnosti výsledků došlo vlivem odlišného přístupu obou řešení. U analytického řešení se jednalo pouze o soustavu o 6-ti stupních volnosti. U simulačního řešení se projevil vliv všech pohybujících se hmotných dílů na kladeči. Jednalo se o setrvačnick, klikovou hřídel, ojnice, pracovní páky, pracovní a rotační hřídele a komponenty mechanismů tvořící pilky a přechovací lišty. Silové účinky těchto hmotných dílů nebyly u analytického řešení uvažovány.

4 EXPERIMENT

4.1 Provozní tvary kmitů (PTK) na kolmém vibračním kladeči KV3-06-250 [6]

4.1.1 Význam a možnosti využití PTK [7]

Provozní tvary kmitů reprezentují zobrazení reálného kmitání stroje při provozním zatížení, tj. při stacionárním provozním režimu. Toto animované zobrazení je velice účinným a názorným prostředkem při odstraňování provozních problémů, které souvisejí s vibracemi a hlukem.

Metoda PTK je vhodná pro všechny druhy poruch strojů, které jsou z hlediska frekvencí v oblasti nižších a středních kmitočtů. Mezi tyto poruchy se řadí nevyváženost, nesouosost, mechanické uvolnění, problémy s uložením stroje na základech, rezonanční buzení stroje, atd. Pozn.: Pro snímání a zviditelňování PTK se užívá výraz “strukturní stroboskopie”.

4.1.2 Měření PTK na stroji KV3-06-250

4.1.2.1 Předpoklady měření [8]

Během měření je nutné zabezpečit níže uvedené předpoklady:

- ustálený provozní režim, tj. otáčky stroje jsou konstantní,
- ve frekvenčním spektru jednotlivých měřených bodů dominují určité frekvence a jejich násobky,
- rozložení budících účinků je obecně neznámé, avšak jejich rozmístění, amplituda a fáze zůstávají během měření konstantní,
- struktura není výrazně nelineární (posuzováno pomocí koherence).

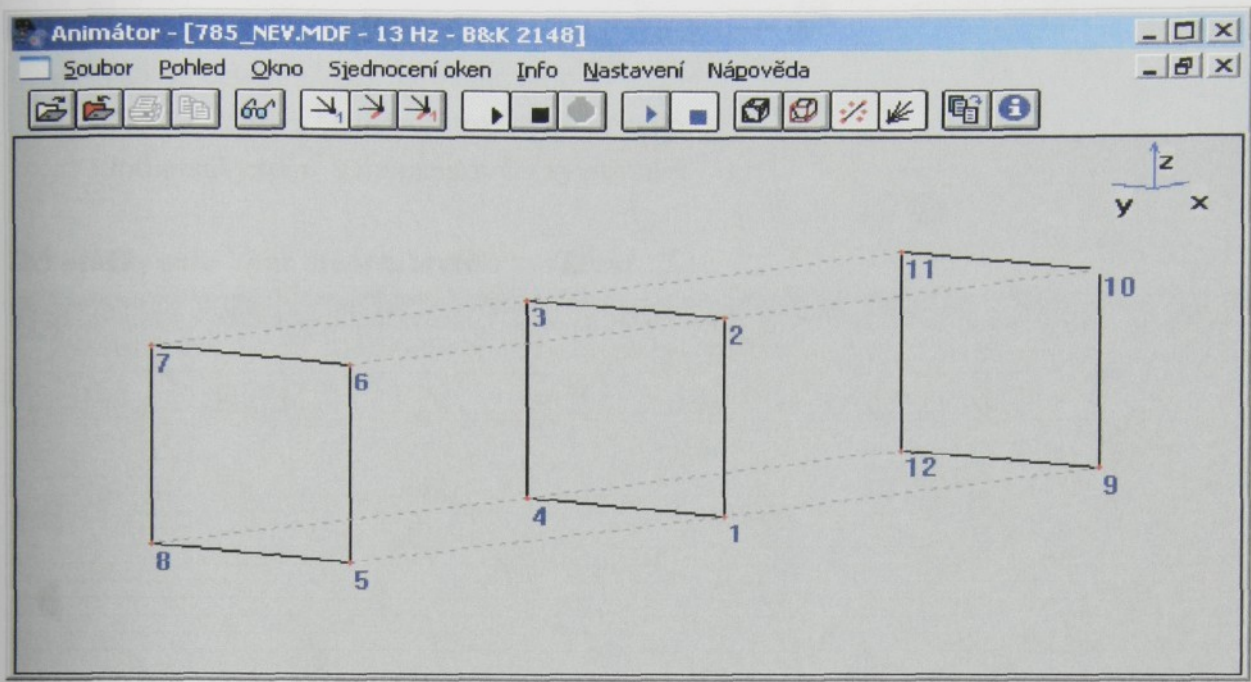
4.1.2.2 Postup při praktickém zjišťování PTK [8]

Při praktickém zjišťování provozních tvarů je nutné:

- vhodně umístit snímač referenčního signálu (zpravidla v místě nejvyšších amplitud),
- měřicí body na stroji rozmístit tak, aby animace daného systému (bude představovat „drátěný model“ animátoru) dala dostatečnou představu o charakteru vynucených kmitů,
- přemísťovat snímač, při provozním režimu stroje, do určených a očíslovaných bodů,
- zaznamenávat pohyb – snímat spektra frekvenčních přenosů vzhledem k referenčnímu bodu (měří se ve třech směrech, osy x , y , z),
- zpracovat data pomocí speciálních algoritmů a následně pohyb jednotlivých bodů znázornit v animátoru s amplitudou a fází odpovídající vybrané, tj. dominantní frekvenci.

Princip zpracování dat spočívá ve výpočtu “přenosnosti” mezi měřeným a referenčním bodem. Na základě hodnoty přenosnosti se následně určují pohyby každého měřeného bodu.

4.1.2.3 Volba měřících bodů



Obr.23. Prostředí animátoru PTK



Obr.24. Měřený stroj KV3-06-250. Čísla označují měřící body (pozn.: snímač referenčního signálu byl umístěn v bodě 3)

Geometrické souřadnice (viz obr.23 a obr.24):

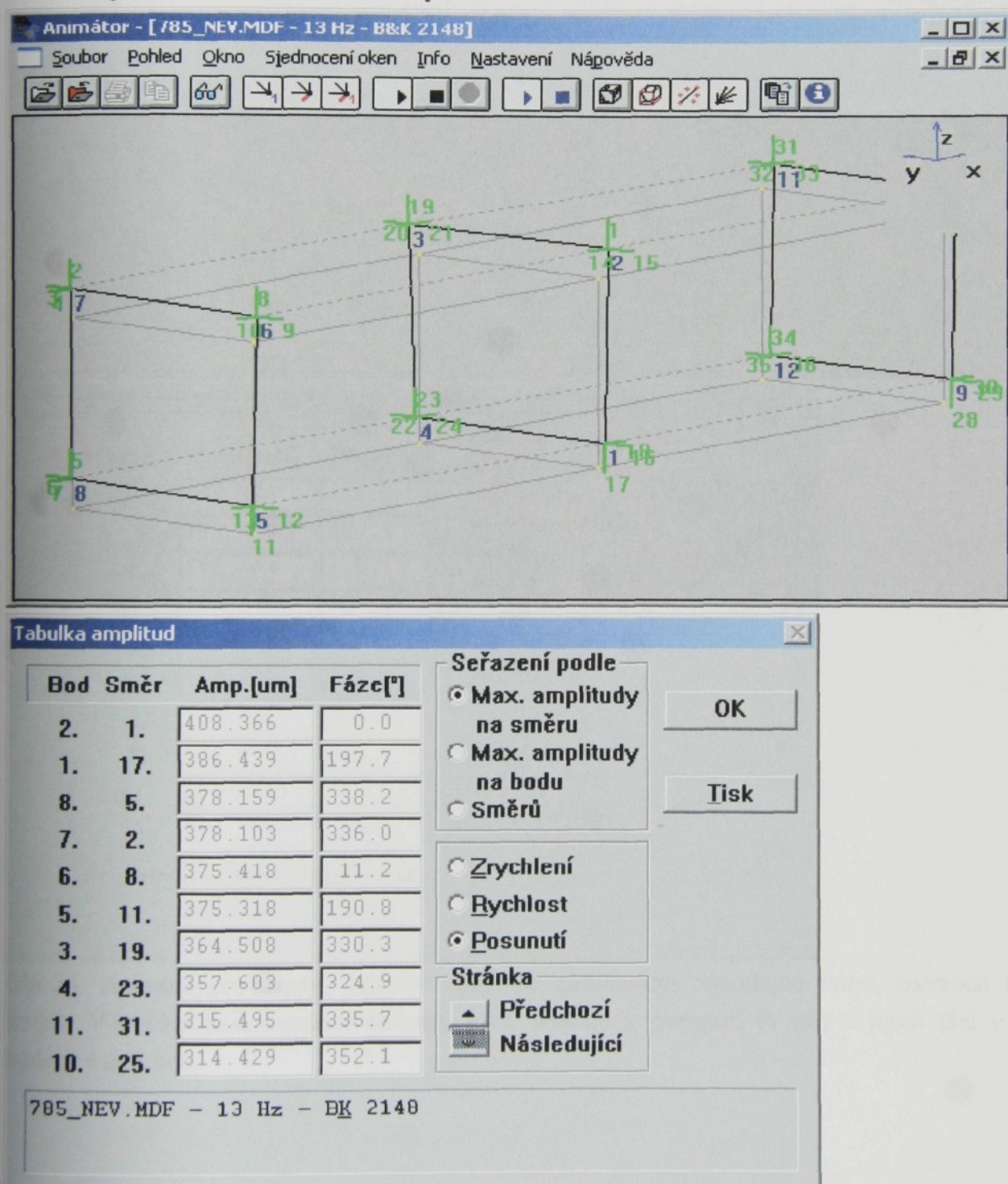
Body	Rozměr [mm]
1 – 2	~ 530
2 – 3	~ 590
5 – 9	~ 2700

4.1.2.4 Vyhodnocení měření PTK na stroji KV3-06-250

Měření bylo provedeno v níže uvedených provozních stavech:

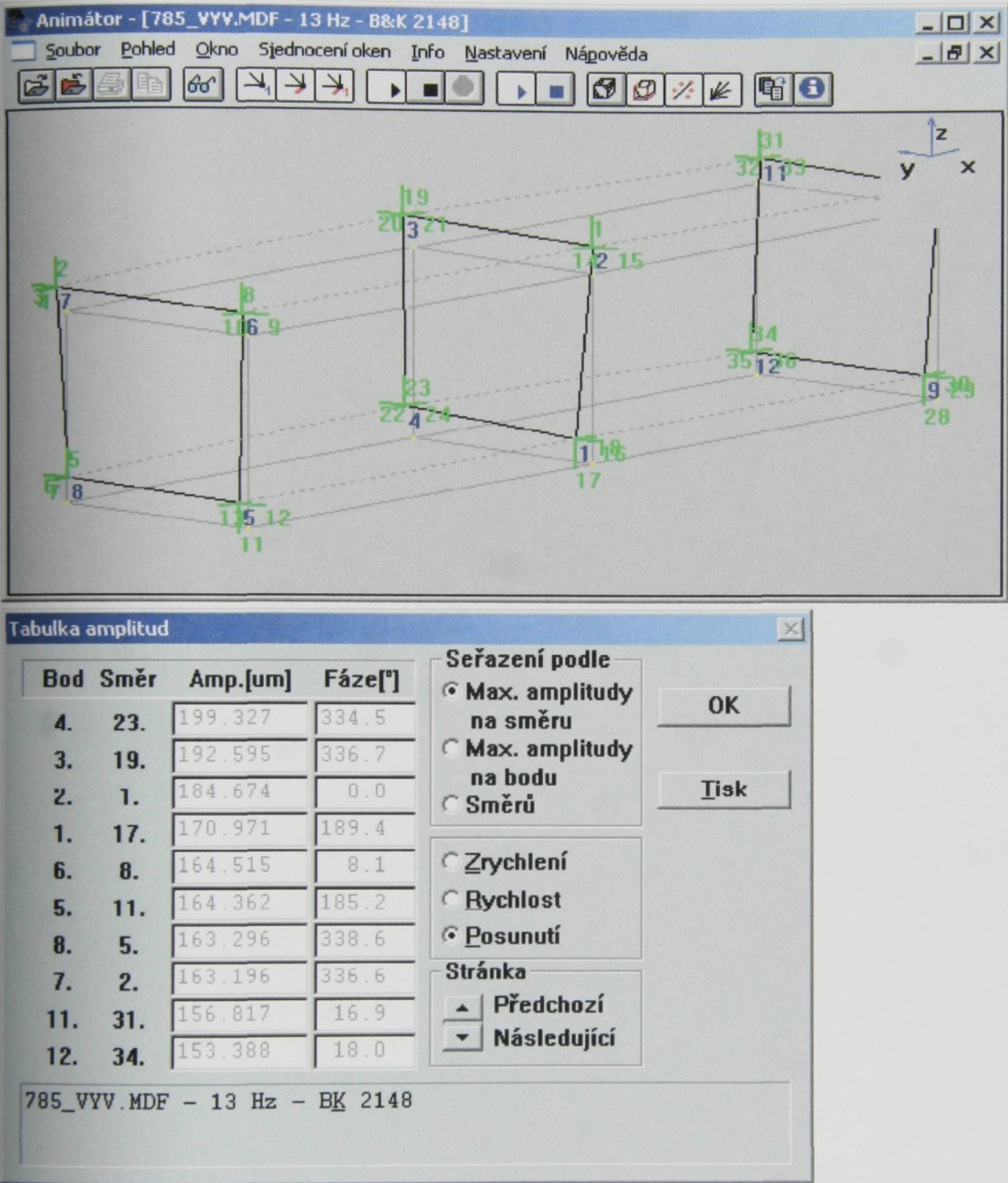
- 785 otáčky·min⁻¹ bez momentového vyvážení,
- 785 otáčky·min⁻¹ s momentovým vyvážením,
- 960 otáčky·min⁻¹ s momentovým vyvážením.

785 otáčky·min⁻¹ bez momentového vyvážení



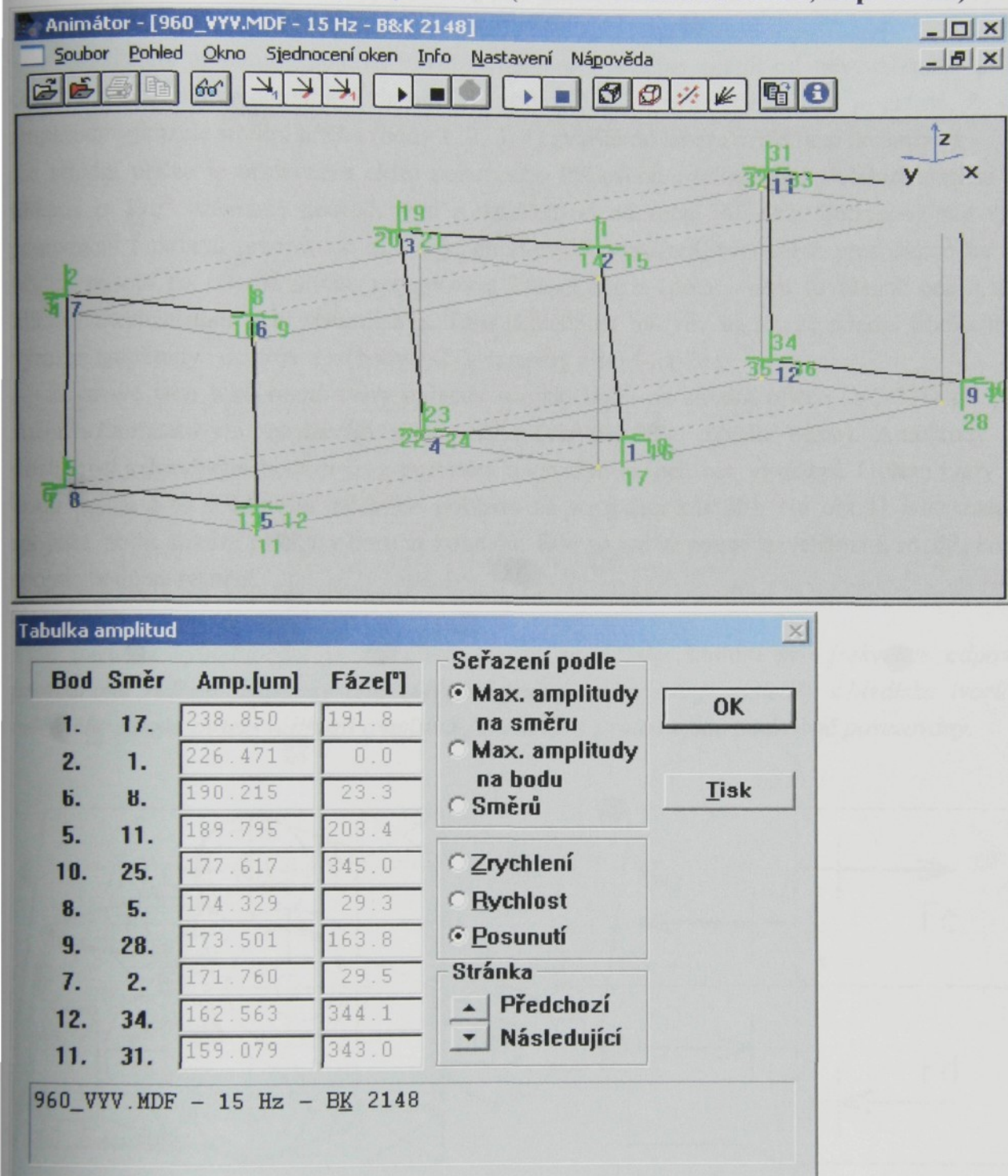
Obr.25. Animace provozního kmitání stroje se zobrazením původního tvaru, měřících bodů a směrů. V tabulce jsou uvedeny hodnoty max. amplitudy posunutí (v μm) a jejich fází v daných bodech a směrech.

785 otáčky·min⁻¹ s momentovým vyvážením (měřítko odlišné od obr.25)



Obr.26. Animace provozního kmitání stroje se zobrazením původního tvaru, měřících bodů a směrů. V tabulce jsou uvedeny hodnoty max. amplitudy posunutí (v μm) a jejich fází v daných bodech a směrech.

960 otáčky·min⁻¹ s momentovým vyvážením (měřítko odlišné od obr.25, resp. obr.26)



Obr.27. Animace provozního kmitání stroje se zobrazením původního tvaru, měřících bodů a směrů. V tabulce jsou uvedeny hodnoty max. amplitudy posunutí (v μm) a jejich fází v daných bodech a směrech.

4.1.2.5 Zhodnocení měření PTK na stroji KV3-06-250

Pro správné posouzení charakteru pohybů proměřované struktury je použit provozní režim 785 otáčky·min⁻¹ s momentovým a bez momentového vyvážení. Momentové vyvážení reprezentují rotující hřídele s připevněným závažím vyvolující odstředivé síly F_c , F_d (viz obr.28). Protože dané zařízení je nezávislé na pracovním mechanismu stroje, lze ho snadno vyřadit z provozu. Na obr.29

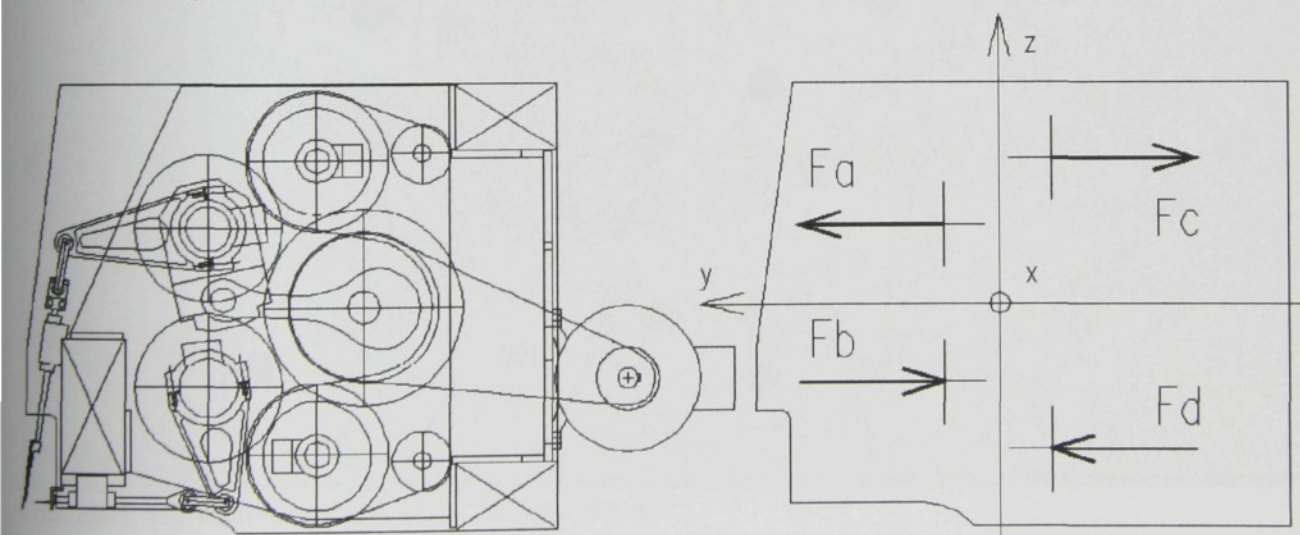
je možno porovnat chování stroje ve stejném provozním režimu – s momentovým vyvážením (vlevo) a bez vyvážení (vpravo).

Maximální amplitudy posuvů vyváženého stroje jsou na rozdíl od nevyváženého poloviční, což dokládají tabulky amplitud (viz obr.25 a obr.26). Z naměřených hodnot je patrné, že největší amplitudy vykazuje střední příčka (body 1, 2, 3, 4) zvláště do směru z , ale také do směru y . Ke střední příčce je připevněna skříň pohonného klikového mechanismu s oboustrannými čelními klikami o 170° vzájemně pootočenými a vzdálenými od sebe 340 mm. Setrvačné síly vyvolané posuvnými hmotami pracovních dílů a jejich silových vyvážení, přenášené přes ojnice na klikový hřídel, působí na střední příčku momentově kolem osy z (pozn.: není to přesně osa z , protože klikový mechanismus není symetrický). Tato skutečnost má vliv na to, že střední příčka vykazuje výrazné amplitudy i do směru x (body 1-2-3-4, směry 18-14-21-24).

Zajímavé jsou také různé tvary animací spojnic bodů na střední příčce (1-2-3-4) při provozu stroje s momentovým vyvážením a bez něho (viz obr.29 – spodní okno). Amplitudy posuvů příslušející jednotlivým bodům jsou poloviční s vyvážením, než bez vyvážení. Ovšem tvary spojnic bodů se liší a to především z čelního pohledu na stroj (viz obr.30). Na obr.31 jsou znázorněny spojnice bodů střední příčky v horním pohledu. Zde se jedná pouze o velikostní rozdíl, tzn. tvary spojnic bodů se nemění.

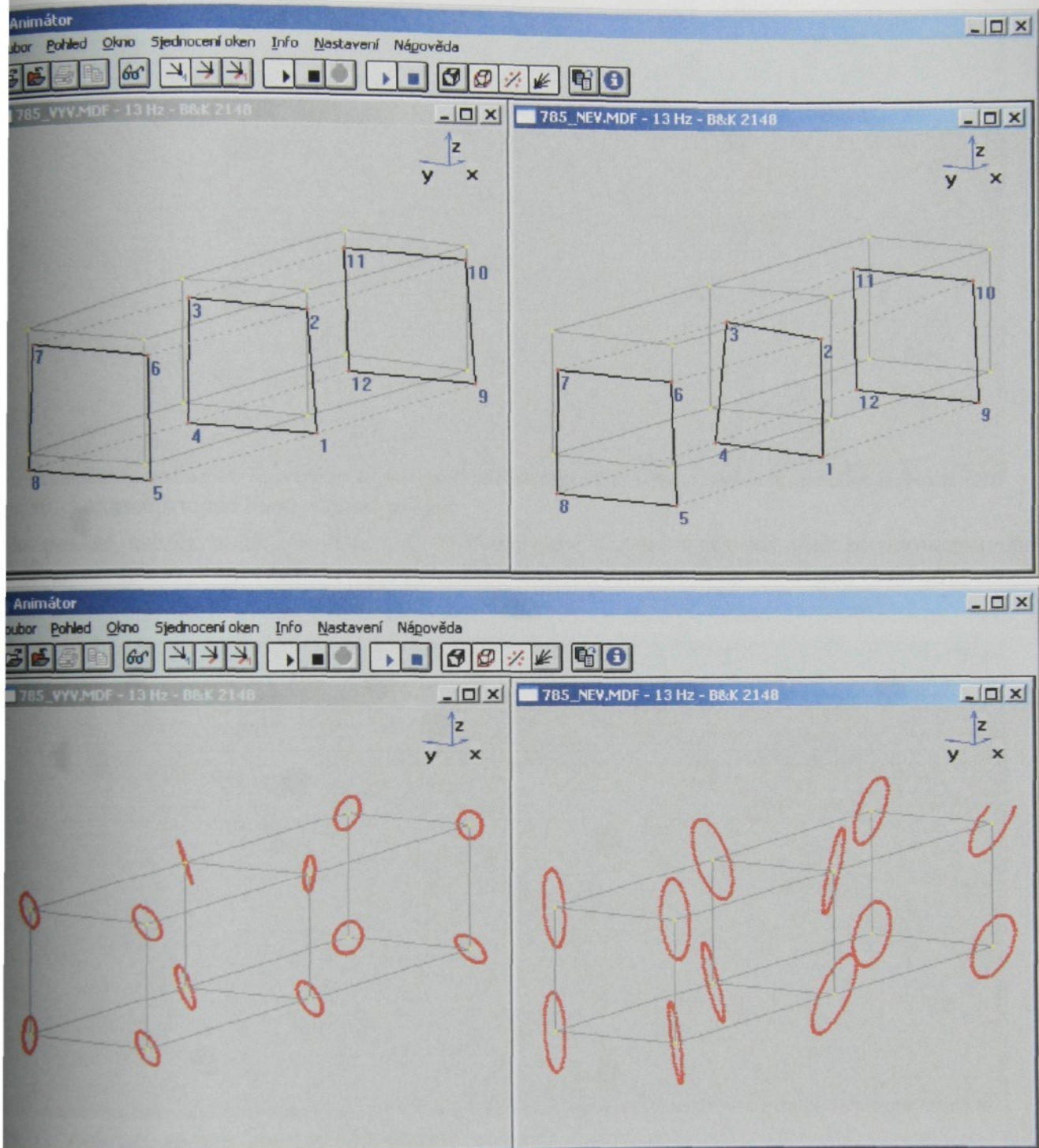
Poznámka:

Výše uvedené vyhodnocení je zaměřeno pouze na účinky kmitání pro frekvence odpovídající provoznímu režimu. Násobky této základní frekvence ovlivňují výsledky z hlediska tvarů kmitů měřeného stroje, ovšem velikosti amplitud jsou malé a proto nejsou podrobně posuzovány.

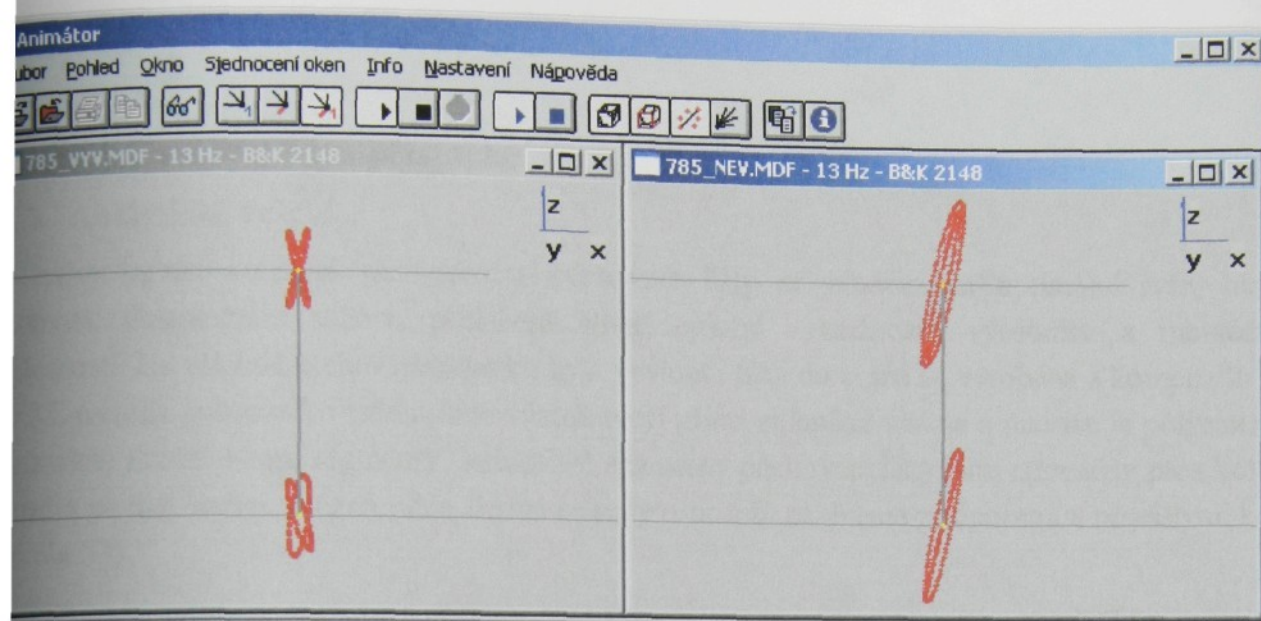


Obr.28. Řez stroje v rovině 1-2-3-4 (rovinný model)

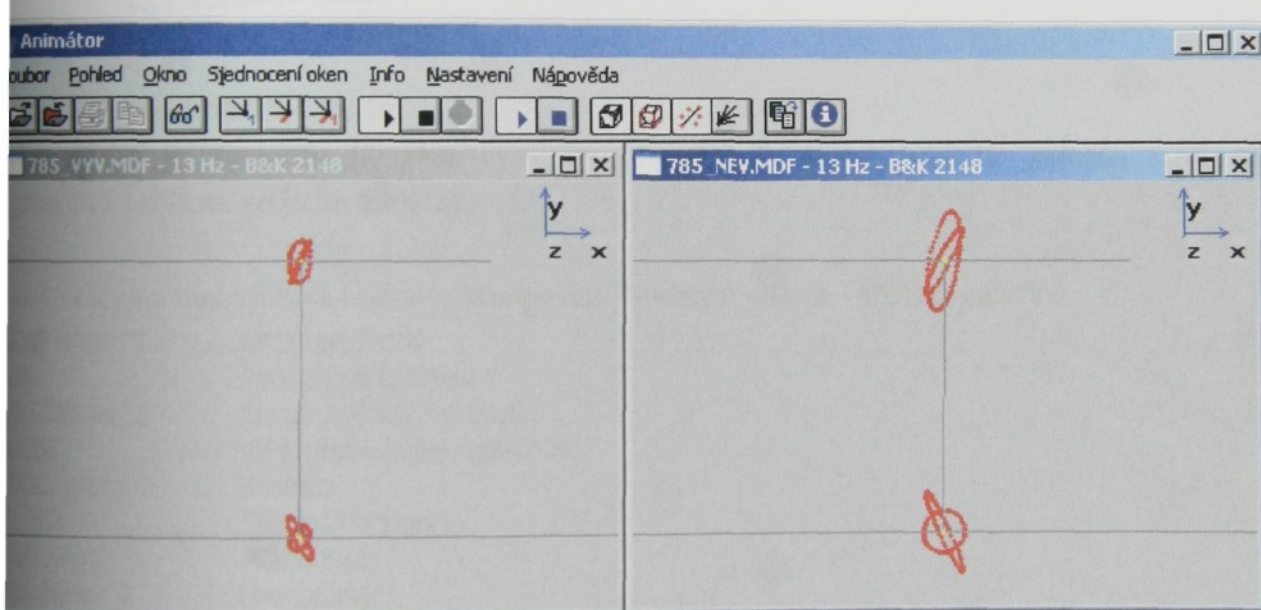
Síly vyvozené vratně posuvným pohybem pracovních dílů a jejich silových vyvážení F_a , F_b . Odstředivé síly momentových vyvážení F_c , F_d .



br.29. PTK v provozním režimu 785 otáčky·min⁻¹
levých oknech s, resp. v pravých oknech bez momentového vyvážení.



obr.30. Animace spojnic bodů střední příčky
 elní pohled, nahoře body 2-3, dole 1-4. V levém okně s, resp. v pravém okně bez momentového
 vážení.



obr.31. Animace spojnic bodů střední příčky
 orní pohled, nahoře body 3-4, dole 2-1. V levém okně s, resp. v pravém okně bez momentového
 vážení.

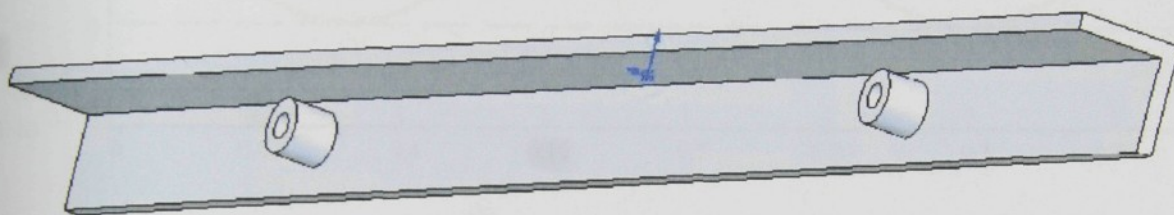
poznámka: Zůstatková nevyváženost (obr.29, 30, 31, levá okna)
 technologického hlediska je stroj schopen produkovat výslednou tloušťku výrobku od 10-ti do 35-
 mm. Pro tento rozsah se používá čtyř sad pěstovacích liš, kde výška jednotlivých liš je 15, 20, 25
 30 mm (viz tab.1). S tím je spojena změna hmotnosti a pracovní dráhy (obr.28). U tvořící pilky se
 notnost nemění, jen pracovní dráha. Z hlediska volby velikosti závaží na pracovních a rotačních
 váží byla zvolena „střední cesta“, tj. stroj je vyvážen pro výrobek cca 20 mm. PTK jsou měřeny
 o nejméně příznivou variantu a to pro výrobek 35 mm. V animacích a změřených hodnotách je
 trná dílčí nevyváženost, která vznikla touto skutečností.

5 KOMPONENTNÍ VÝPOČTY

5.1 Statické namáhání pěchovací lišty

5.1.1 Analytické řešení

Při technologicko-konstrukčním návrhu pěchovací lišty se hledělo na optimální tvar, nízkou hmotnost, dostatečnou tuhost, potlačení vlivu teplotní roztažnosti, výrobních a montážních nepřesností. Na základě těchto požadavků byla vyvinuta lišta do tvaru L, vyrobená z kompozitu (viz obr.32, metoda pultruzního tažení, kde výztuž tvoří přímá skleněná vlákna a matrice je polyesterová pryskyřice) rozdělená na segmenty. Jednotlivé segmenty pěchovací lišty jsou upevněny přes kovová pouzdra na dvě vodící, kluzná táhla. Jedná se tedy o nosník se dvěma podporami a převislými konci (viz obr.33).



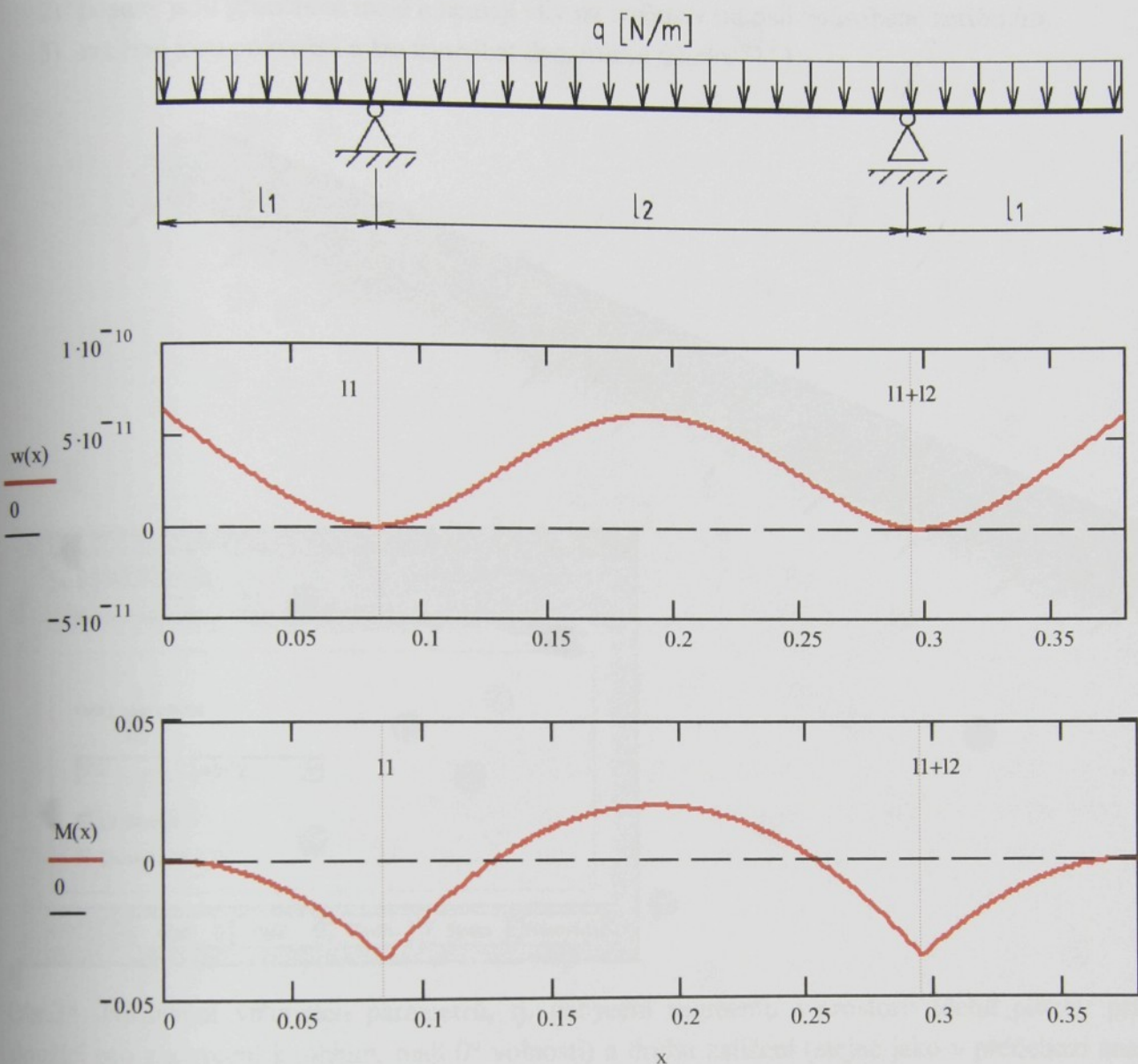
Obr.32. Segment pěchovací lišty

(Průřez lišty je ve tvaru L. Dva výstupky představují kovová pouzdra sloužící k připevnění segmentu ke dvěma vodícím táhlům).

Tab.3. Vstupní materiálové hodnoty kompozitu: skleněná vlákna – PES pryskyřice

45000 N/mm ²	Modul pružnosti
0.33	Poissonova konstanta
16950 N/mm ²	Modul pružnosti ve smyku
1e-005	Koeficient tepelné roztažnosti
0.0021 g/mm ³	Hustota
0.5 W/m K	Tepelná vodivost
1880 J/kg K	Měrné teplo
1000 N/mm ²	Mez pevnosti

Metodou diferenciální rovnice ohybové čáry byly zjištěny průběhy průhybů a ohybových momentů na segmentu pěchovací lišty za předpokladu spojitého zatížení po celé délce [9]. Jeho hodnota je zvolená, neboť je závislá na konkrétně vyráběné gramáži textilního výrobku ($q=10$ N/m). Řešením bylo též nalezení optimálních poloh podpor za předpokladu stejných hodnot průhybů uprostřed a na koncích převislých konců segmentu [10]. Výpočet byl realizován v prostředí MathCad a je prezentován na obr.33 a v příloze č.4.



Obr.33. Průběh průhybu w [m] a ohybového momentu M [Nm] na segmentu přechovací lišty v závislosti na délce x [m] (čárkované, svislé úsečky představují polohu podpor)

Výsledkem je segment přechovací lišty o rozměrech: $l_1=84,5$ mm (rozměr převislého konce), $l_2=210$ mm (rozměr mezi podporami), $l=379$ mm (délka segmentu).

5.1.2 Řešení metodou konečných prvků (MKP)

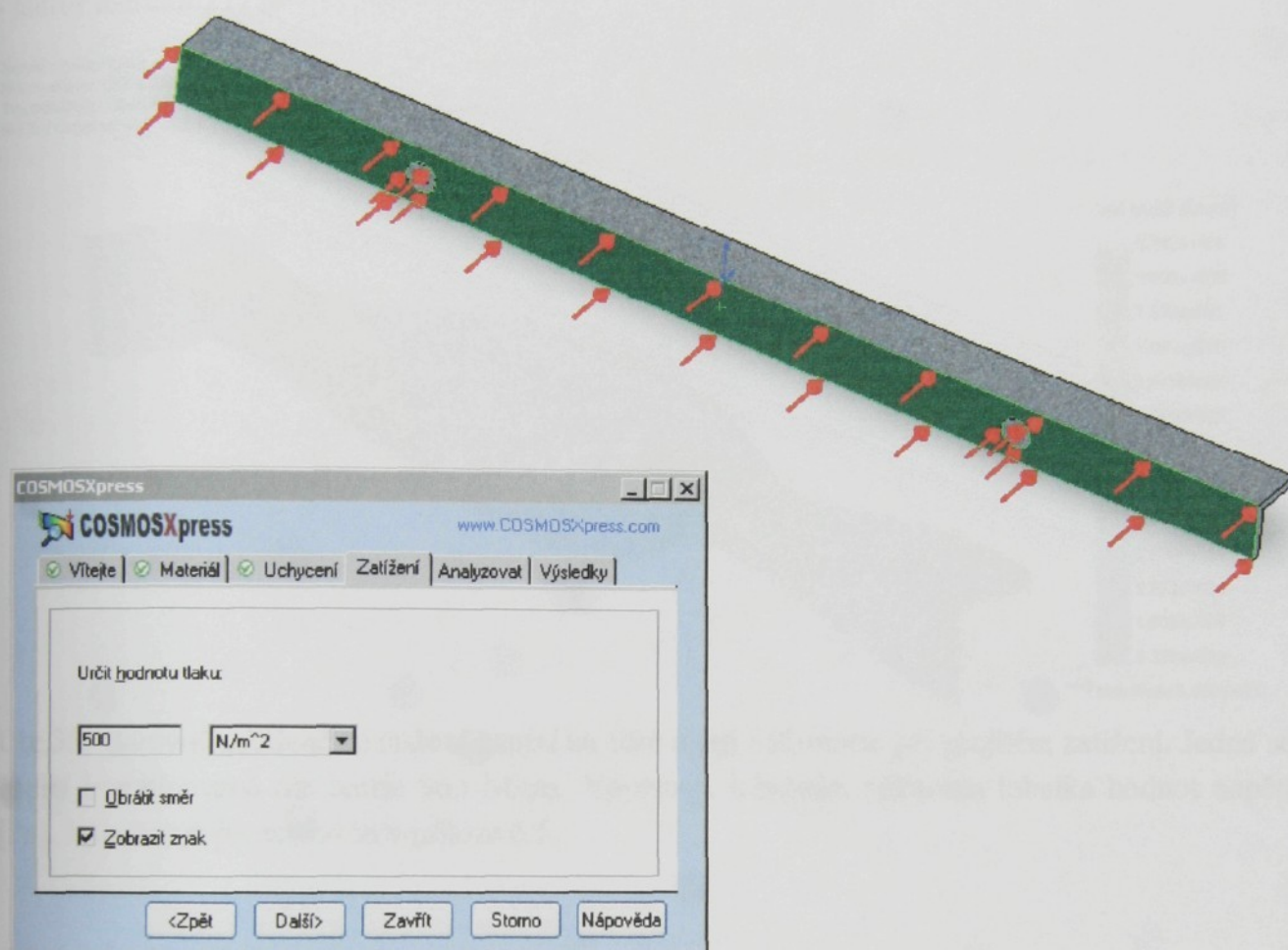
Pro tento postup bylo využito prostředí SolidWorks_CosmosXpress. Výsledky analýzy návrhu jsou založeny na lineárním statickém výpočtu a předpokladu, že materiál je izotropní.

5.1.2.1 Předpoklad

Lineární statický výpočet předpokládá že:

- 1) chování materiálu je lineární, podle Hookova zákona,

- 2) posuny jsou přiměřeně malé a nemají vliv na změny v tuhosti způsobené zatížením,
- 3) zatížení jsou pozvolná a lze zanedbat dynamické účinky [11].



Obr.34. Nastavení vstupních parametrů, tj. uchycení segmentu v prostoru (čelní plochy přírub, sloužící pro zachycení k táhlům, mají 0° volnosti) a druhu zatížení (stejně jako v předchozí analýze se jedná o spojité zatížení, jehož hodnota je ekvivalentní)

5.1.2.2 Informace o síti

Typ objemová – 4-stěn,

velikost elementu 3,5042 mm,

tolerance 0,17521 mm,

počet elementů 7599,

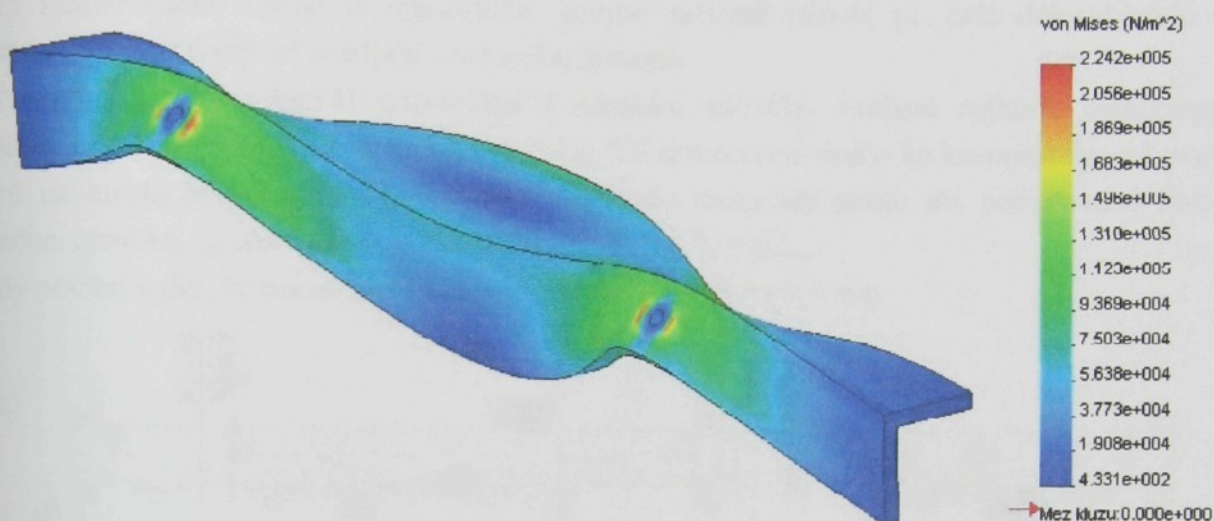
počet uzlů 15843.

5.1.2.3 Výsledky analýzy

5.1.2.3.1 Napětí von Mises

- faktor měřítka 21728

Název modelu: Lista_CosXpress
Název studie: COSMOSXpressStudy
Typ schématu: Statický uzlové napětí Obrázek1
Měřítko deformace: 21728.1

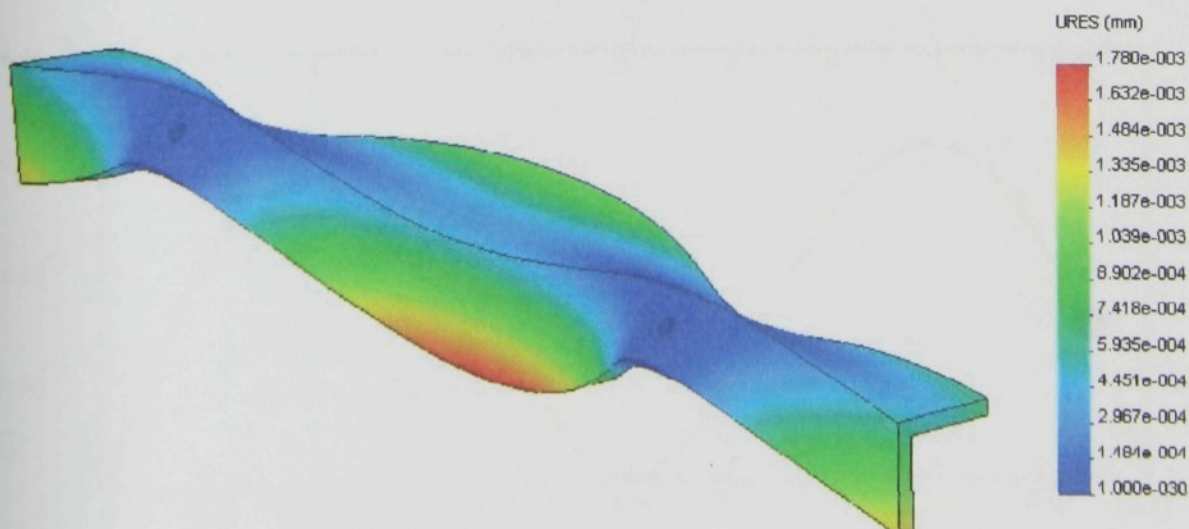


Obr.35. Barevně odlišené rozložení napětí na liště a její deformace při spojitém zatížení. Jedná se o napětí kombinované dle teorie von Mises. Vpravo je k barvám přiřazena tabulka hodnot napětí v [Pa]. Výpočet je prezentován v příloze č.5.

5.1.2.3.2 Výsledný posun

- faktor měřítka 21728

Název modelu: Lista_CosXpress
Název studie: COSMOSXpressStudy
Typ schématu: Statický posun Obrázek2
Měřítko deformace: 21728.1



Obr.36. Barevně odlišené posunutí prvků na liště a její deformace při spojitém zatížení. Vpravo je k barvám přiřazena tabulka hodnot posunutí v [mm]. Výpočet je prezentován v příloze č.5.

5.2 Statické namáhání rotujícího vyvažovacího hřídele

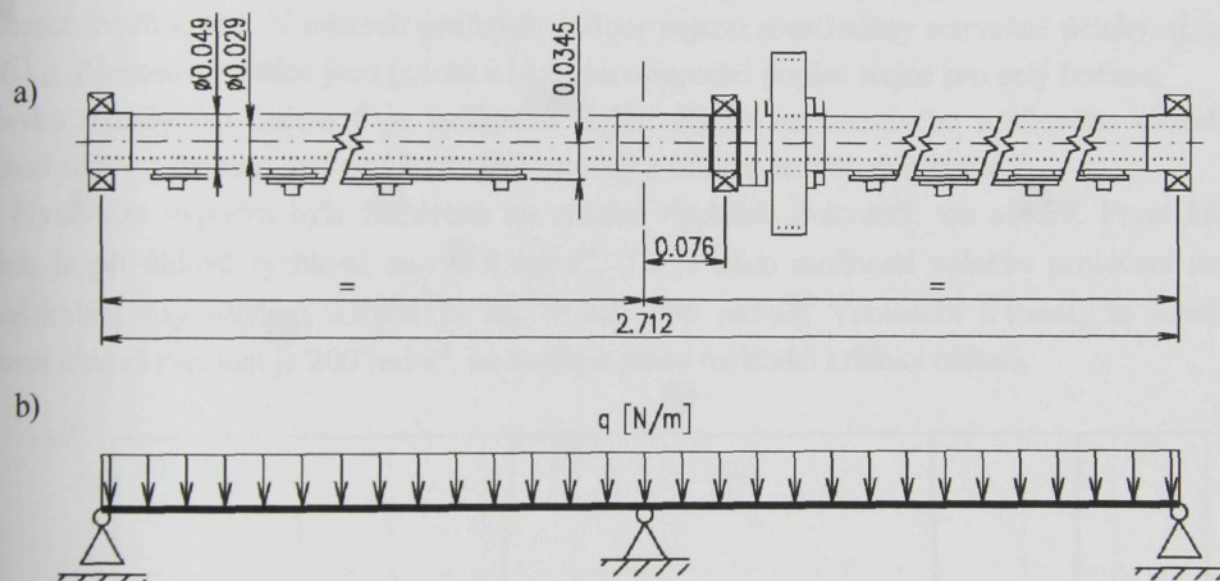
5.2.1 Průhyb hřídele při krouživém kmitání

Výpočet byl realizován v prostředí MathCad a je prezentován na obr.38 a v příloze č.6.

Hřídel je namáhán staticky spojitým zatížením, které je vyvoláno odstředivou silou rotujících závaží. V daném případě krouživého kmitání se jedná o souběžnou precesi [12]. Výpočet vychází z určitých zjednodušení. Úloha je symetrická, spojitě zatížení působí po celé délce hřídele a je zanedbán vliv radiální síly od předpětí ozubeného řemene.

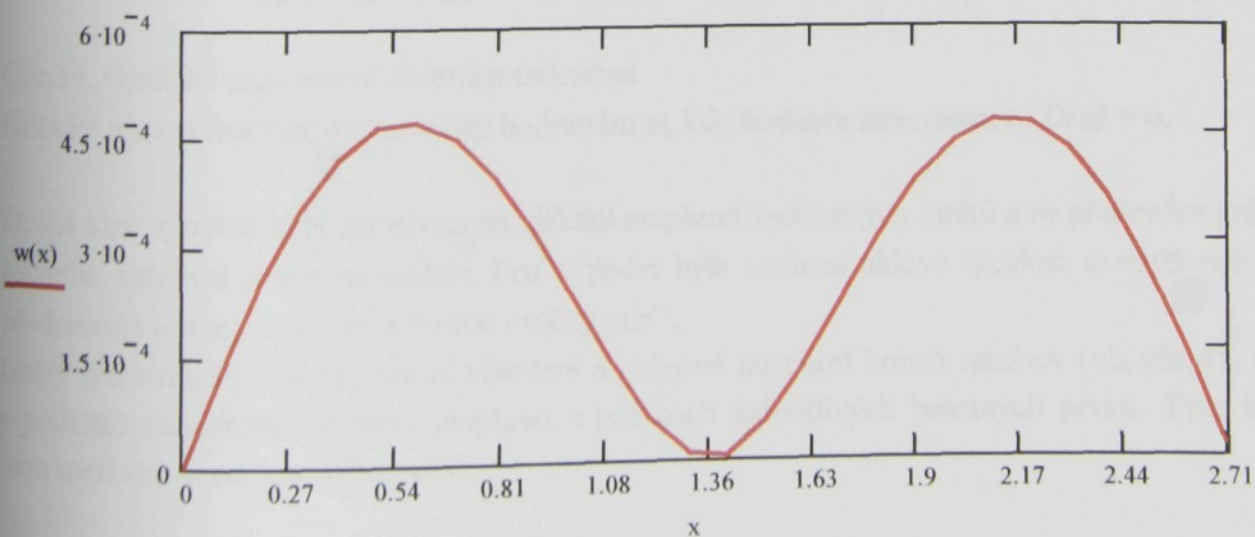
Hodnoty průhybu (viz obr.38) odpovídají z hlediska silového zatížení nejhorší technologické variantě, tj. hmotnost rotačních vývažků je 9,5 kg. Ve skutečnosti došlo ke kompromisu a hmotnost vývažků na každé hřídeli je 6 kg. Bylo to z důvodu nastavení stroje dle požadované tloušťky výsledného výrobku, tj. záměny pěchovací lišty, viz kap.3.1, tab.1.

Lze tedy počítat s tím, že maximální průhyb nepřekročí hodnotu 0,5 mm.



Obr.37. a) konstrukční podestava rotačního vyvažovacího hřídele

b) zjednodušený výpočtový model



Obr.38. Průhyb rotačního vyvažovacího hřídele v [m] při otáčkách $n = 1000$ otáčky $\cdot \text{min}^{-1}$

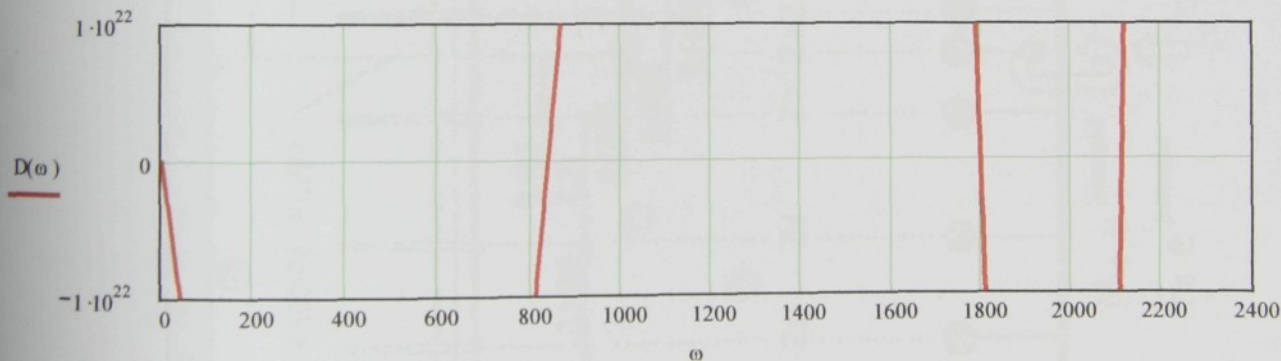
5.3 Torzní a ohybové kmitání pracovní hřídele pilky

5.3.1 Analytické řešení metodou přenosových matic (MPM) [12]

Výpočet byl realizován v prostředí MathCad a je prezentován na obr.39-43 a v příloze č.7.

Model pracovního hřídele kladecí pilky zahrnuje diskrétní prvky, jako jsou hmotná tělesa a torzně i ohybově poddajné, nehmotné nosníky. Celkový výpočtový model se skládá z 19-ti podsystémů, hmotný prvek – nosník. Pracovní hřídel je umístěná na třech podporách o určitých tuhostech ve směru průhybu, v ostatních dvou směrech je podpora absolutně tuhá. Volba velikosti tuhosti (v našem případě uložení v ložiskových tělesech) je rozhodující pro zjištění konkrétních výsledných hodnot průhybů, natočení, atd. Pro krajní podpory byly zvoleny hodnoty tuhostí $k = 1 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, pro střední podporu tuhost o jeden řád menší. Snížení tuhosti střední podpory bylo provedeno z důvodu poddajnosti tří příčníků stroje, na nichž je upevněna střední příčka s ložiskovým tělesem. Tato úvaha byla podmíněna i výsledky experimentu při zjišťování provozních tvarů kmitů. V místech pružných podpor nejsou soustředěny setrvačné účinky, tj. zde je $m_i = 0 \text{ kg}$. Přenosové matice jsou potom z hlediska obecného popisu stejné pro celý řetězec. Na prvku označeném číslem 8 je aplikován budící účinek momentového a silového charakteru. Velikosti silové a momentové amplitudy byly určeny z účinku setrvačných hmot.

První fáze výpočtu byla zaměřena na zjištění vlastních frekvencí, viz obr.39. První kritická rychlost je při úhlové rychlosti $\omega_{kr1} = 0 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. To je dáno možností volného protáčení modelu hřídele kolem osy otáčení. Druhá je $\omega_{kr2} = \text{cca } 850 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Vzhledem k tomu, že maximální provozní úhlová rychlost je $200 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, nedosáhne pracovní hřídel kritické oblasti.

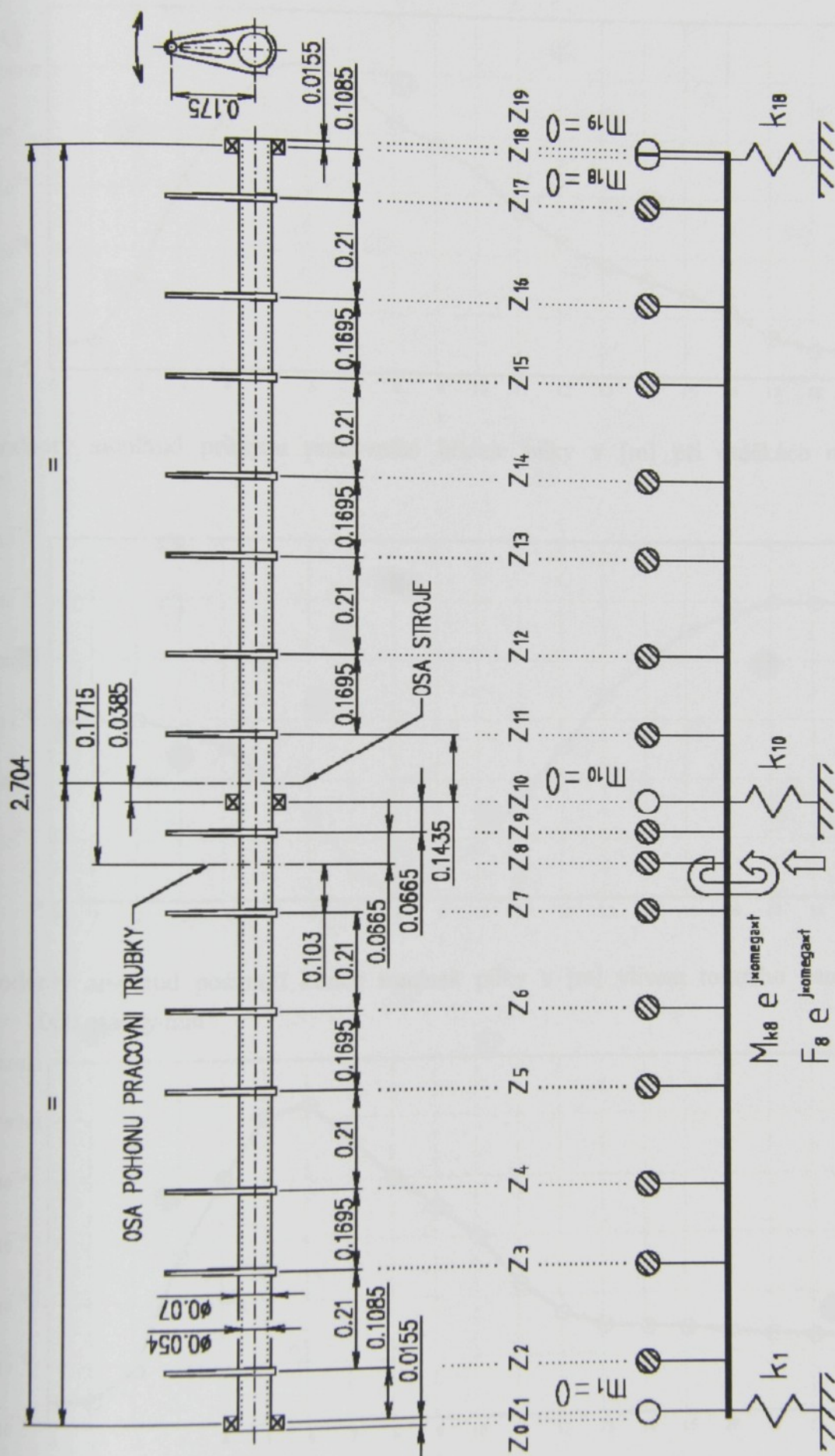


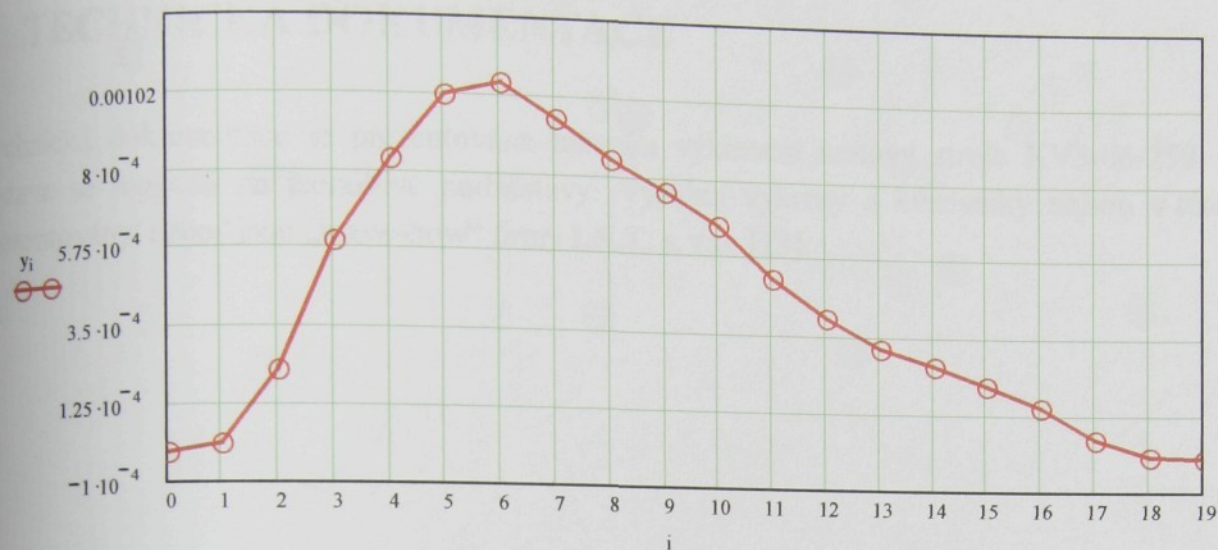
Obr.39. Grafické znázornění vlastních frekvencí

Kritické úhlové frekvence odpovídají hodnotám ω , kdy hodnota determinantu $D(\omega) = 0$.

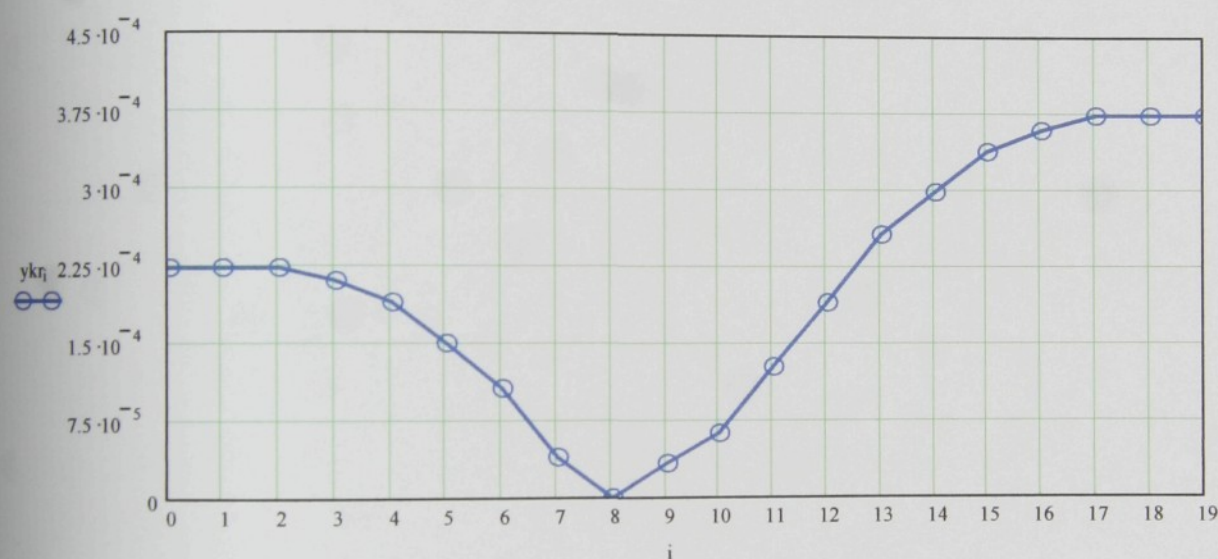
Druhá fáze výpočtu byla zaměřena na zjištění amplitud vynucených kmitů a to především průhybu a torzního natočení pracovní hřídele. Pro výpočet byla zvolena úhlová rychlost $\omega = 105 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, což představuje provozní otáčky $n = 1000 \text{ otáčky} \cdot \text{min}^{-1}$.

Grafy znázorňující průhyb, torzní natočení a celkové posunutí konců ramínek (viz obr.41, 42, 43) v podstatě znázorňují hodnoty amplitud v polohách jednotlivých hmotných prvků. Tyto hodnoty jsou mezi sebou spojeny přímkami.

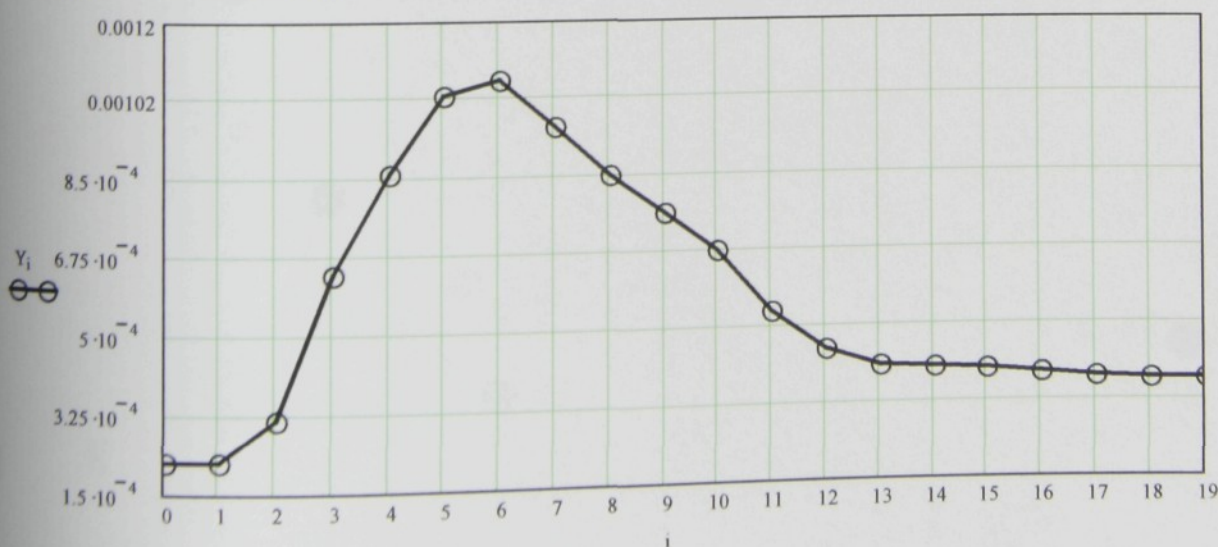




Obr.41. Hodnoty amplitud průhybu pracovního hřídele pilky v [m] při otáčkách $n = 1000$ otáčky·min⁻¹



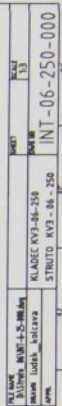
Obr.42. Hodnoty amplitud posunutí konců ramínek pilky v [m] vlivem torzního namáhání při otáčkách $n = 1000$ otáčky·min⁻¹

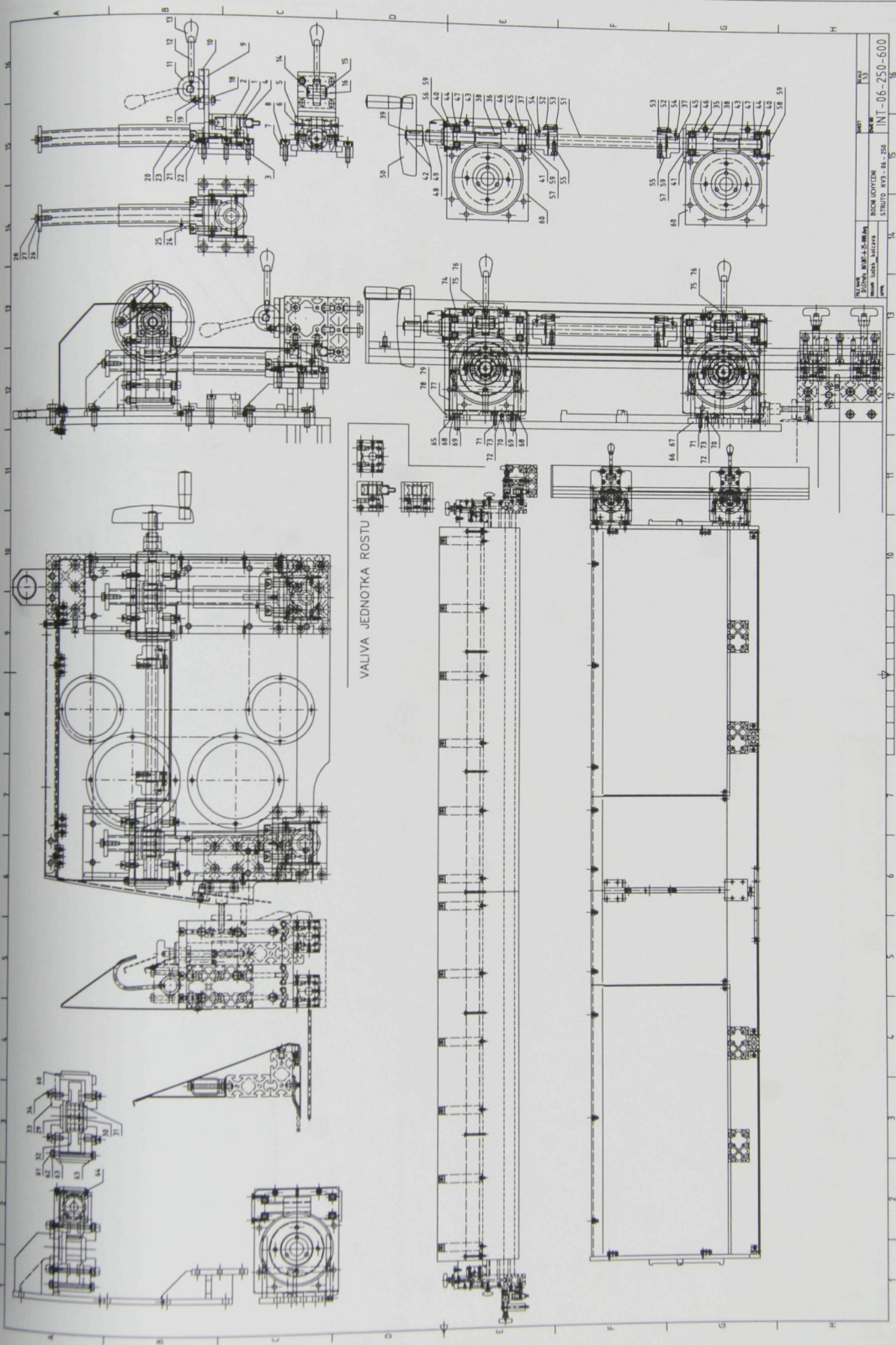


Obr.43. Celkové hodnoty amplitud posunutí konců ramínek pilky v prostoru v [m] při otáčkách $n = 1000$ otáčky·min⁻¹ (průhyb hřídele je kolmý k výchylce konců ramínek vlivem torzního namáhání)

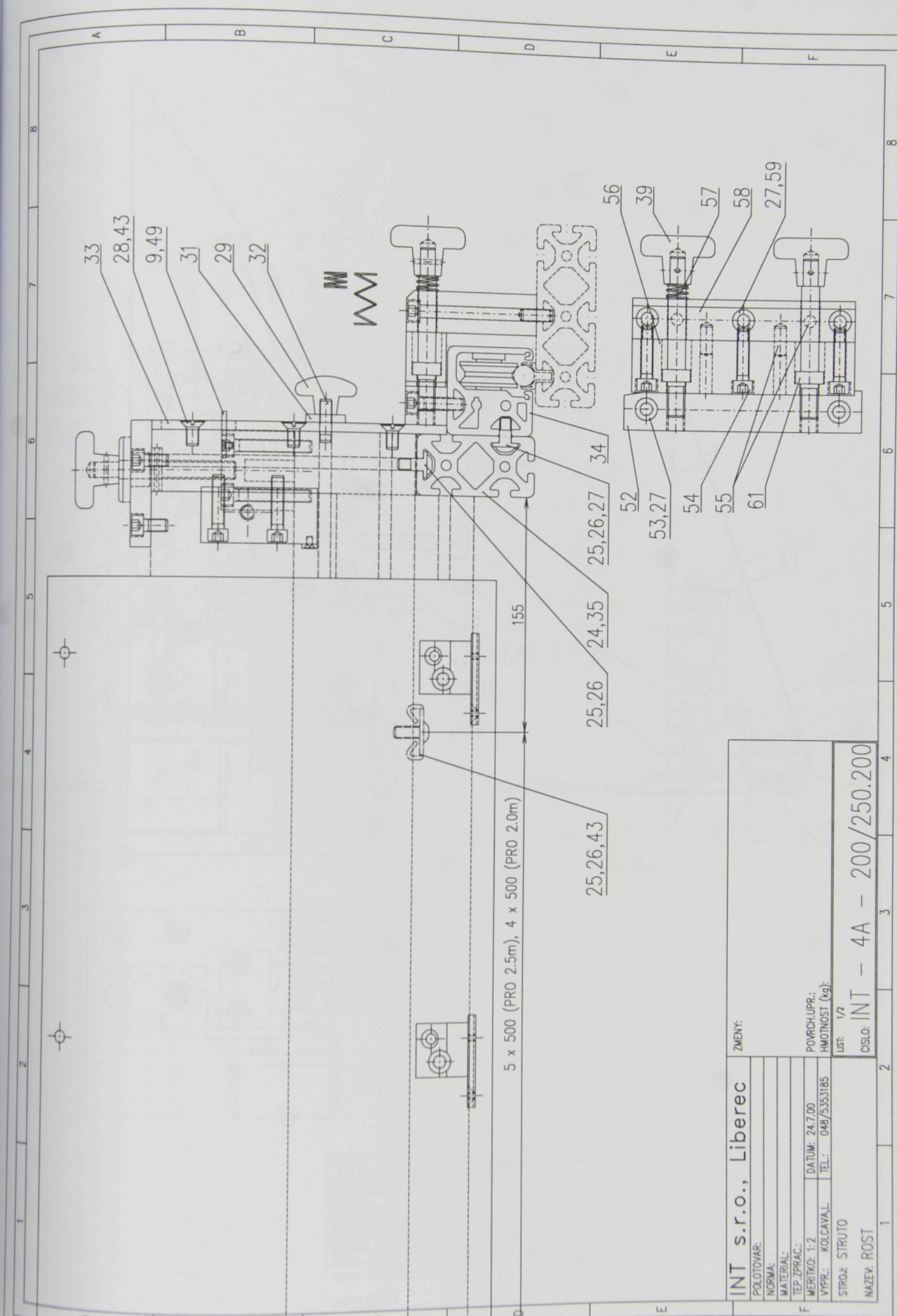
6 TECHNICKÁ DOKUMENTACE

Technická dokumentace je prezentována hlavním výkresem sestavy stroje KV3-06-250. Hlavní sestava se rozpadá na jednotlivé podsestavy. Výrobní výkresy a kusovníky nejsou v této práci prezentovány, neboť jsou „know-how“ firmy I.N.T. s. r.o. [13].

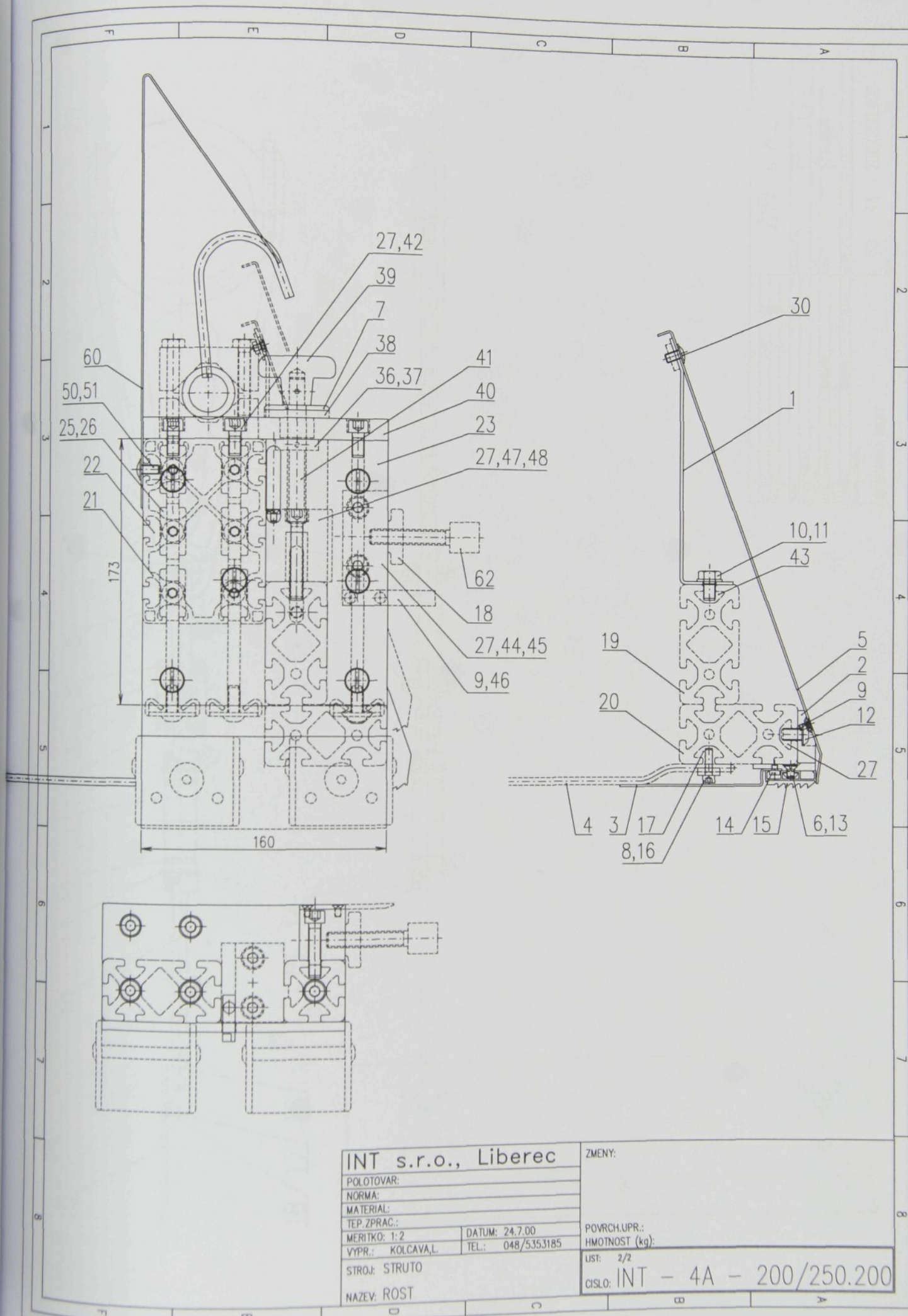




PL. NÁZEV BUDOVY, KAPIT. + S. MĚŘÍTKO PRŮM. DOKL. VÝKRES 1:100	RODINNÝ ÚSTŘEDNÍ STŘEDNÍ K. V. 250 - 250	ČÍSLO 13	INT-06-250-600
---	---	-------------	----------------



INT s.r.o., Liberec		ZMENY:	
POLOTOVAR:			
NORMA:			
MATERIAL:			
TEP ZPRAC:			
MERITKO: 1:2	DATUM: 24.7.00	POVRCH. UPR.:	
VYPR.: KOLCAVAL	TEL.: 048/5353185	HMOTNOST (kg):	
STROJ: STRUTO		LIST: 1/2	
NAZEV: ROST		CISLO: INT - 4A - 200/250.200	



INT s.r.o., Liberec

POLOTOVAR:

NORMA:

MATERIAL:

TEP, ZPRAC:

MERITKO: 1:2

VYPR.: KOLČAVA, L.

STROJ: STRUTO

NAZEV: ROST

DATUM: 24.7.00

TEL.: 048/5353185

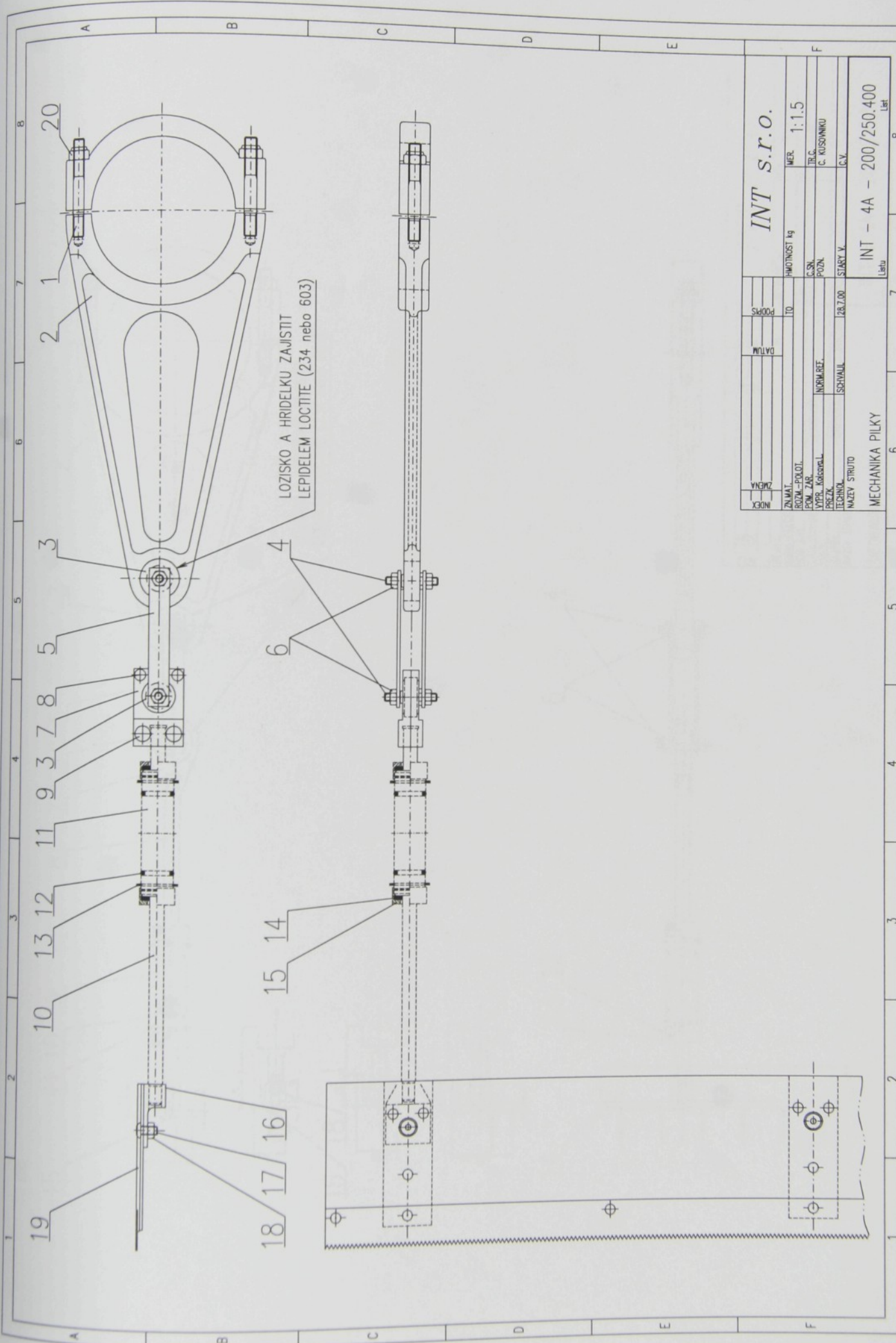
ZMENY:

POVRCH. UPR.:

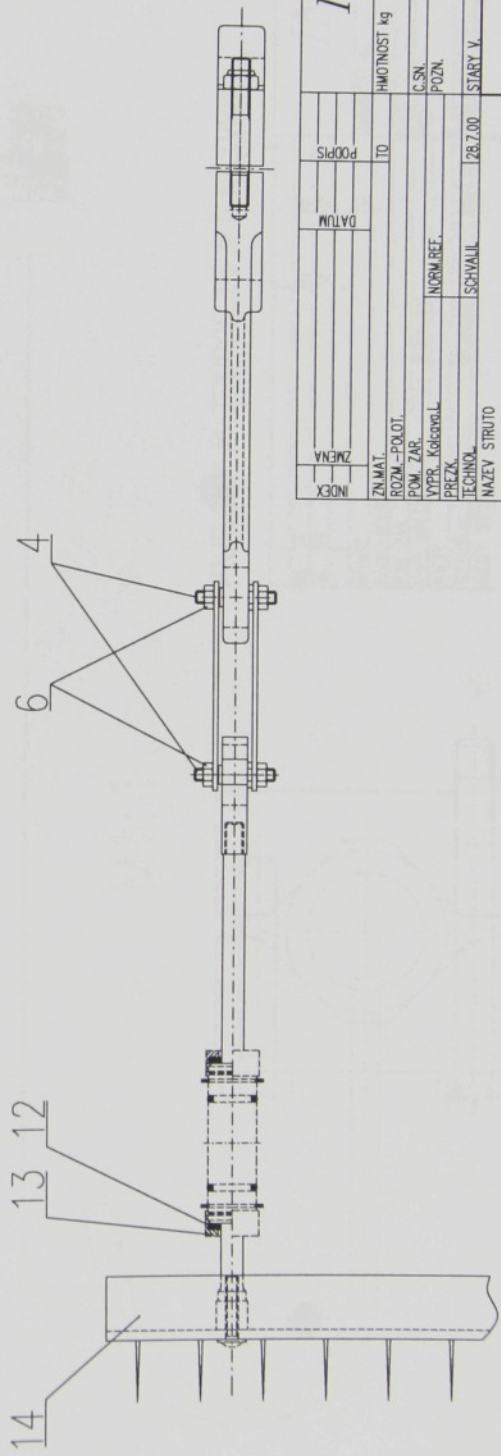
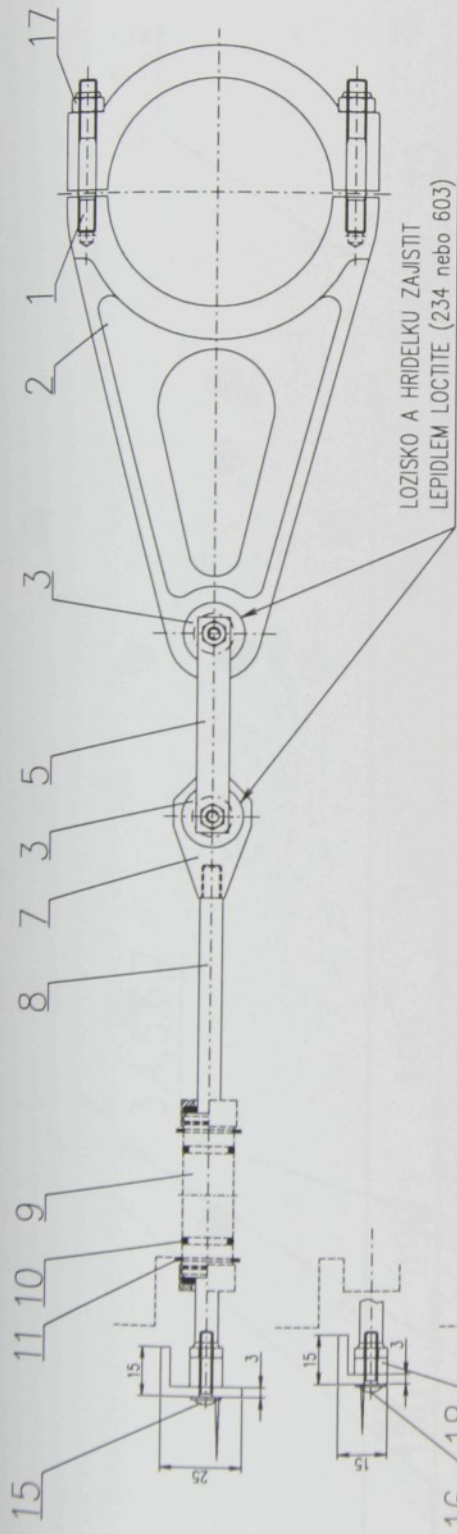
HMOTNOST (kg):

UST: 2/2

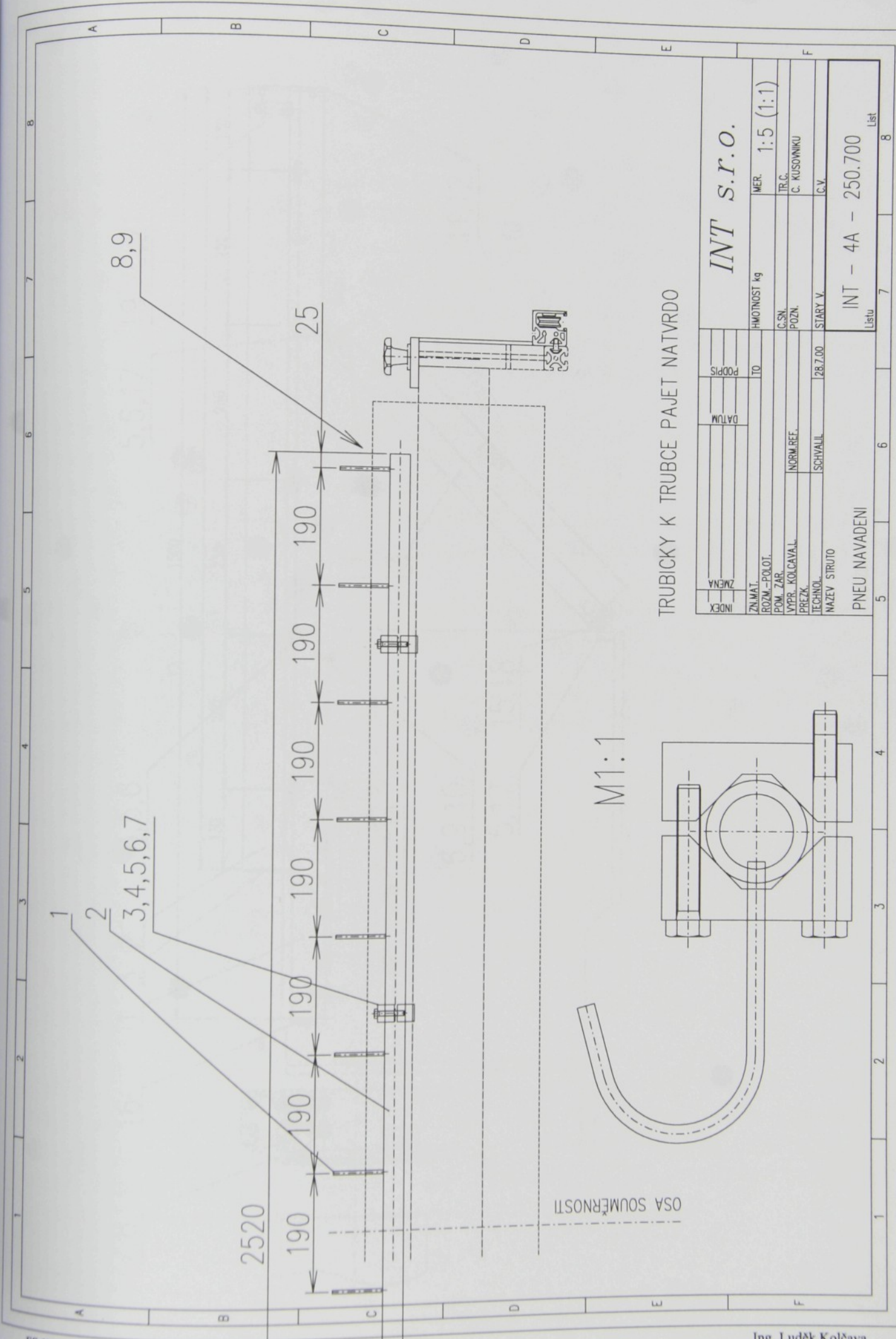
ČÍSLO: INT - 4A - 200/250.200



INDEX		DATA		POPS		INT S.r.o.	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER. 1:1.5	
ZNAJ.		TO		HMOTNOST kg		MER	



INDEX		ZMENA		DATUM		POPS		INT S.R.O.	
ZNMAT		TO		HMOTNOST kg		MER.		1:1.5	
ROZM.-POLOH.		C.SN.		TR.C.		C. KUSOVNIKU			
POM. ZAR.		NORM. REF.		C. KUSOVNIKU		C.V.			
VYPR. Kolicova.L.		PREZK.		SCHVAL.		STARÝ V.			
TECHNOL.		28.7.00							
NAZEV STRUTO									
MECHANIKA LISTY									
INT - 4A - 200/250.500									
Listu		7		8					



TRUBICKY K TRUBCE PAJET NATVRDO

INDEX	ZMENA	DATUM	POPSIS	INT S.R.O.			
ZNAM.	TO	HMOTNOST kg	MER.	1:5 (1:1)			
ROZM.-POLO.							
POM. ZAR.							
VYPR. KOLCAVALL		NORM.REF.					
PREZK.		SCHVAIL					
TECHNOL.		STARY V.					
NAZEV STRUTO							
PNEU NAVADENI				INT - 4A - 250.700			
				Listu 7 8			

7 ZÁVĚR

7.1 Hodnocení konstrukce stroje

Vibrační kladeč KV3-06 (s rotačními vyvažovacími hřídeli) byl posledním vývojovým stupněm sériově vyráběného stroje tohoto typu. Ač nejdokonalejší ze všech vývojových stupňů, nebyl nikdy uveden do výrobní linky textilní firmy. Zůstal laboratorním a vzorovacím strojem v poloprovozu firmy I.N.T.s.r.o.. Faktem zůstává, že provozní otáčky tohoto stroje dosahovaly bez problémů $n = 1000 \text{ otáčky} \cdot \text{min}^{-1}$. V tomto provozním režimu stroj vykazoval v nejméně příznivém technologickém uspořádání jen zbytkovou nevyváženost, která neovlivňovala výrobu objemové textilie. Tohoto režimu dosáhly i kladeče obsahující absorbery kmitů nebo kyvné vyvažovací hřídele, ale za cenu složité obsluhy nebo nadměrného zatížení pohonného mechanismu.

Za útlum dalšího vývoje stroje může mnoho aspektů. Hlavní je především obchodně-technologický. Technologům se nepodařilo tímto strojem vyrobit takový objemový produkt, který by rovnocenně nahradil polyuretanové pěny, např. v nábytkářském průmyslu, jak bylo dříve propagováno. Může za to časová destrukce skladů objemového textilního výrobku. Další využití je ve filtračním průmyslu, kde si výrobek své místo obhájil. Avšak potenciál filtračního průmyslu není tak velký, aby způsobil masové rozšíření této technologie.

Další aspekt je technický. Jak bylo v úvodu zmíněno, důležitý parametr tohoto stroje je maximální provozní rychlost a s tím spojená produktivita. Praktické zkušenosti ukázaly, že maximální provozní otáčky $1000 \text{ otáčky} \cdot \text{min}^{-1}$ jsou stále nedostatečné a stroj je stále „brzdou“ celé linky. Optimální provozní otáčky by měly být cca $2000 \text{ otáčky} \cdot \text{min}^{-1}$. Této hodnoty stroj nemůže dosáhnout z hlediska materiálových omezení. Jedná se především o kritické rychlosti na kluzných elementech.

Bez ohledu na utlumení vývoje této technologie lze na stroji vývojové řady KV3-06 ukázat, že je možné pomocí rotujících vyvažovacích elementů vyvážit setrvačné hmoty pohybující se přímočaře, vratně. Tyto pohyby mohou být jakkoli vůči sobě orientovány (u stroje KV3-06 se jedná o vzájemný úhel 82°) a rozdílně pohybově synchronizovány (u stroje KV3-06 se jedná o předstih přechovací lišty vůči kladecí pilce o 10°).

7.2 Použití stroje v praxi

Největšího rozmachu dosáhla technologie kolmo kladené objemové textilie mezi roky 1998 až 2002. V tomto období bylo vyrobeno 17 kladečů s přímočaře vratnými pohyby pracovních elementů. Kladeče o pracovních šířkách 0,3 m, 1,0 m, 2,0 m, 2,5 m a 3,0 m byly instalovány do textilních linek jako součást teplovzdušné komory. Vedení firmy I.N.T.s.r.o. se rozhodlo o podání patentu na konstrukci kladeče a používanou technologii (viz obr.44).



P.B. 5818 - Patentlaan 2
2280 HV Rijswijk (ZH)
☎ +31 70 340 2040
TX 31651 epo nl
FAX +31 70 340 3016

Europäisches
Patentamt

Eingangs-
stelle

European
Patent Office

Receiving
Section

Office européen
des brevets

Section de
Dépôt

Kolcava, Ludek
Smolnice 189
44001 Louny
REPUBLIQUE TCHEQUE

Datum/Date

20/09/00

Zeichen/Ref./Réf.

Anmeldung Nr./Application No./Demande n°/Patent Nr./Patent No./Brevet n°

00113666.2-2314

Anmelder/Applicant/Demandeur/Patentinhaber/Proprietor/Titulaire

I.N.T. Radko Krcma

DESIGNATION AS INVENTOR - COMMUNICATION UNDER RULE 17(3) EPC

You have been designated as inventor in the above-mentioned European patent application. Below you will find the data contained in the Designation of Inventor and further data mentioned in Art. 128(5) EPC:

DATE OF FILING : 28.06.00

PRIORITY : CZ/29.06.99/CZ 236699

TITLE : Manufacturing technology and equipment of vertically layered bulky textiles

DESIGNATED STATES : AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE

INVENTOR (PUBLISHED = 1, NOT PUBLISHED = 2):

1/Krcma, Radko/Karla Capka 22/46005 Liberec/CZ
1/Hanus, Jaroslav/Vanurova 819/46001 Liberec/CZ
1/Jirsak, Oldrich/Dobiasova 856/6/46000 Liberec/CZ
1/Kolcava, Ludek/Smolnice 189/44001 Louny/CZ
1/Kotek, Vaclav/Na Vysinach 450/7/46005 Liberec/CZ
1/Machova, Iva/Holubova 512/46005 Liberec/CZ
1/Sanetrnik, Filip/Sosnova 468/46000 Liberec/CZ
1/Vitak, Josef/Jestrabi 961/5/46001 Liberec/CZ

DECLARATION UNDER ARTICLE 81 EPC:

The applicant(s) has (have) acquired the right to the European patent as employer(s).

RECEIVING SECTION



F 1048 (03.94)

7003006 16/09/00

008

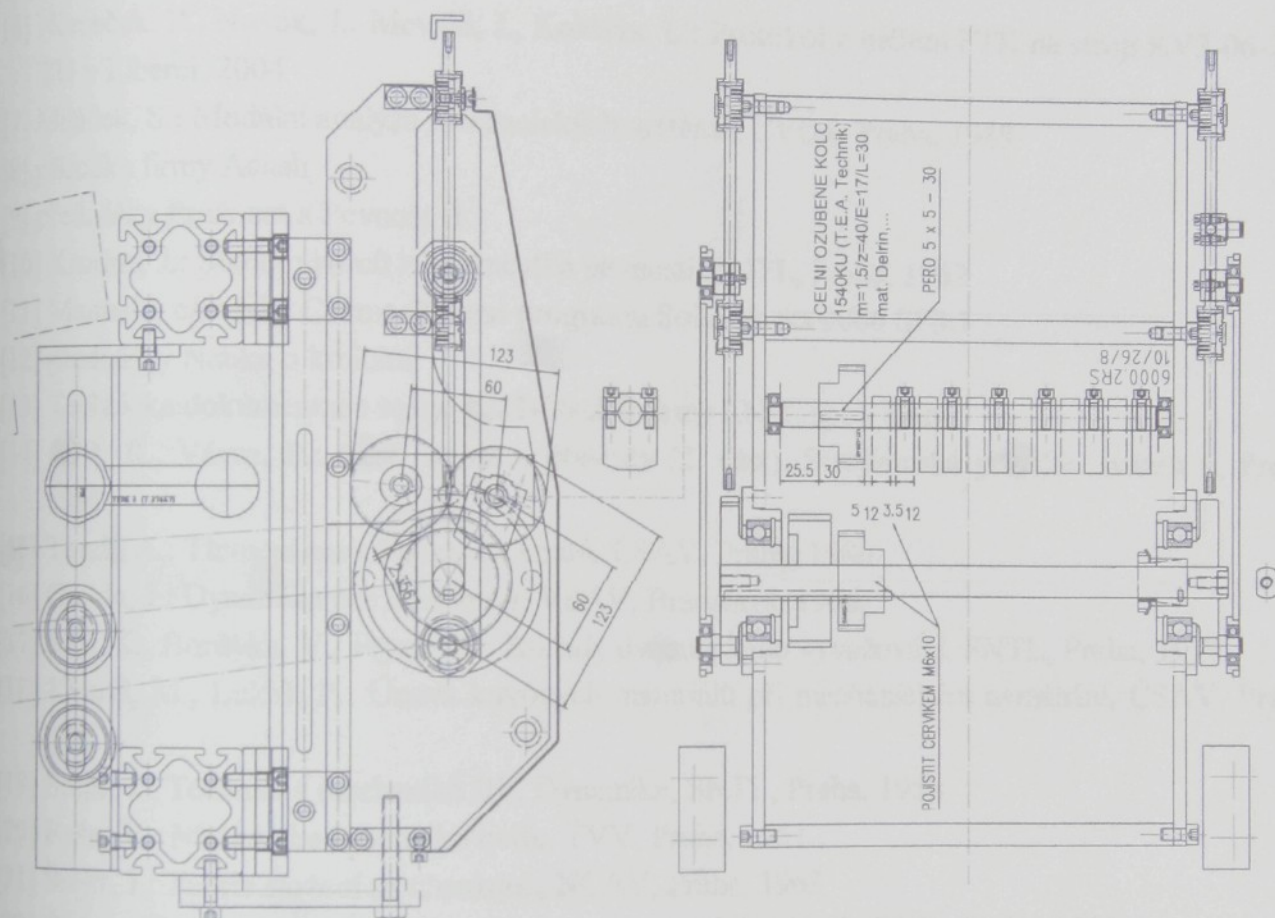
Obr.44. Evropský patent na konstrukci vibračního kladeče objemové textilie a jím provozovanou technologii STRUTO

Firmy, které využívají kladeč s přímočaře vratnými pohyby pracovních elementů pro výrobu objemové textilie STRUTO (název firmy_pracovní šířka_typ vyvážení_datum uvedení do provozu):

- FiberCraft (USA)_2,5 m_absorbéry kmitů_srpen 1998,
- Lear Corporation (USA)_2,0 m_absorbéry kmitů_září 1998,
- Kimberly-Clark (USA)_1,0 m_absorbéry kmitů_prosinec 1998,
- FiberCraft (USA)_2,5 m_absorbéry kmitů_prosinec 1998,
- GTM (USA)_1,0 m_absorbéry kmitů_únor 1999,
- Lear Corporation (USA)_2,0 m_absorbéry kmitů_prosinec 1999,
- Carlie (USA)_2,5 m_absorbéry kmitů_prosinec 1999,
- FiberTech System (Malajsie)_2,0 m_absorbéry kmitů_prosinec 1999,
- HW (UK)_2,5 m_kyvné vyvažovací hřídele_leden 2000,
- FiberCraft (USA)_2,5 m_kyvné vyvažovací hřídele_únor 2000,
- Ledatec (UK)_3,0 m_kyvné vyvažovací hřídele_srpen 2000
- I.N.C. (Austrálie)_2,0 m_kyvné vyvažovací hřídele_listopad 2000,
- Bondex (Venezuela)_2,5 m_kyvné vyvažovací hřídele_únor 2001,
- ACONIC HIGH-TECH FIBER (Čína)_2,5 m_kyvné vyvažovací hřídele_květen 2001,
- Poloprovoz I.N.T. (ČR)_2,5 m_rotační vyvažovací hřídele_červenec 2001,
- GTM (USA)_0,3 m_bez vyvažování (vzorovací stroj)_září 2001,
- Poloprovoz I.N.T. (ČR)_0,3 m_bez vyvažování (vzorovací stroj)_říjen 2001.

7.3 Vývoj nové řady kladečů

Další konstrukční práce se ubíraly vývojem nezávislých unifikovaných jednotek o pracovní šířce 0,5 m, ze kterých se skládal stroj na požadovanou výslednou pracovní šířku. Jednotky byly poháněné centrální hřídelí. Každá jednotka byla samostatně vyvážena pomocí protiběžně rotující dvojici vyvažovacích hřídelí. Vyvažovací hřídele byly poháněné od hnací hřídele jednotky pomocí ozubených kol a obsahovaly stejný počet vyvažovacích elementů. Tento stroj však nebyl nikdy uveden do sériové výroby (viz obr.45).



Obr.45. Prototyp jednotky kladeče KV3-08

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Jirsák, O., Kalinová, K.: Netkané textilie II, Skriptum TU v Liberci, Liberec, 2003
- [2] Mevald, J.: Analýza vibrací a návrh absorberu kmitu stroje Struto V2, TU v Liberci, 1998
- [3] Mevald, J.: Dynamické vyvážení stroje Struto V2, TU v Liberci, 1999
- [4] Mevald, J.: Návrh parametrů dynamického vyvážení mechanismu stroje KV3-06-250, TU v Liberci, 2000
- [5] Manuál k programu WorkingModel 2D 5.0
- [6] Němeček, P., Novák, J., Mevald, J., Kolčava, L.: Protokol z měření PTK na stroji KV3-06-250, TU v Liberci, 2004
- [7] Miláček, S.: Modální analýza mechanických systémů, ČVÚT, Praha, 1989
- [8] příručka firmy Adash
- [9] přednášky Pružnost a Pevnost II
- [10] Krutina, J.: Sbírka vzorců z pružnosti a pevnosti, SNTL, Praha, 1962
- [11] Manuál k nástavbě CosmosXpress programu SolidWorks 2006 SP3.1
- [12] přednášky Nauka o kmitání
- [13] Technická dokumentace stroje KV3-06-250 firmy I.N.T. spol. s.r.o.
- [14] Kříž, R., Vávra, P.: Části strojů a převody (2. část), Strojírenská příručka svazek 6, Praha, 1995,
- [15] Tondl, A.: Tlumení samobuzených kmitů, ČSAV, Praha, 1980
- [16] Gonda, J.: Dynamika pre inžinierov, VSAV, Bratislava, 1966
- [17] Juliš, K., Borůvka, V., Fryml, B.: Základy dynamického vyvažování, SNTL, Praha, 1979
- [18] Klesnil, M., Lukáš, P.: Únava kovových materiálů při mechanickém namáhání, ČSAV, Praha, 1975
- [19] Šrejtr, J.: Technická mechanika III., Dynamika, SNTL, Praha, 1958
- [20] Felbr, V.: Mechanika hmotného bodu, TVV, Praha, 1951
- [21] Šrejtr, J.: Teorie složení mechanismů, NČAV, Praha, 1963
- [22] Červenka, Marek, Havlíček,.: Pružnost a pevnost II, Kmitání, SNTL, Praha, 1957
- [23] Timošenko, Š.: Kmitání ve strojírenství, SNTL, Praha, 1960
- [24] Kožešník, J.: Dynamika strojů, SNTL, Praha, 1958
- [25] Šrejtr, J.: Technická mechanika I., Statika, SNTL, Praha, 1958
- [26] Šrejtr, J.: Technická mechanika II, Kinematika, SNTL, Praha, 1958
- [27] Timošenko, Š.: Pružnost a pevnost II, TVV, Praha, 1951

VLASTNÍ PUBLIKACE

- 1) Mevald, J., Kolčava, L.: Analýza vibrací a návrh absorberu kmitů stroje STRUTO V2, TU v Liberci, 1998
- 2) Mevald, J., Kolčava, L.: Dynamické vyvážení stroje STRUTO V2, TU v Liberci, 1999

- 3) Mevald, J., Kolčava, L.: Návrh parametrů dynamického vyvážení mechanismu stroje kladeče KV3-06-250, TU v Liberci, 2000
- 4) Mevald, J., Kolčava, L.: Simulační analýza stroje s dynamickými absorbéry kmitů, In. Proceeding of XXIInd International Colloquium ASIS 2000, Ostrava, 2000
- 5) Němeček, P., Novák, J., Mevald, J., Kolčava, L.: Protokol z měření PTK na stroji KV3-06-250, TU v Liberci, 2004

9 PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

1) Příloha č. 1

Kladeč využívající absorbéry kmitů / Analytické řešení dynamického systému
PRILOHAc1_Kapitola_2-1-4.mcd

2) Příloha č. 2

Kladeč využívající rotační vyvažovací hřídele / Vliv úhlového nastavení vyvažovacích hřídelí vůči poloze klikového mechanismu
PRILOHAc2A_Kapitola_2-3-3.mcd
PRILOHAc2B_Kapitola_2-3-3.xls

3) Příloha č. 3

Výpočet dynamického chování stroje KV3-06-250 / Analytické řešení
PRILOHAc3_Kapitola_3-3.mcd

4) Příloha č. 4

Statické namáhání přechovací lišty / Analytické řešení
PRILOHAc4_Kapitola_5-1-1.mcd

5) Příloha č. 5

Statické namáhání přechovací lišty / Řešení metodou konečných prvků
PRILOHAc5_Kapitola_5-1-2 (*.html, *.avi, *.jpg)

6) Příloha č. 6

Statické namáhání rotujícího vyvažovacího hřídele / Průhyb hřídele při krouživém kmitání
PRILOHAc6_Kapitola_5-2-1.mcd

7) Příloha č. 7

Torzní a ohybové kmitání pracovní hřídele pilky / Analytické řešení metodou přenosových matic
PRILOHAc7_Kapitola_5-3-1.mcd

PRILOHA c.1 (1/2)

ANALYTICKE REŠENÍ ROVINNEHO MODELU STROJE V2-00-250

ma := 10
m1 := 3·ma
m2 := 3·ma
l := 35
m := 450
mx := 3.5
my := 4.5
l1 := 0.5
l2 := 2
h := 0.9
ζ := 0.1
η := 0.1
η1 := -0.5
ζ2 := 0.5

kx := 4·10⁵
ky := 30·10⁵
ξx := 0.05
ξy := 0.05
ξ1 := 0.05
ξ2 := 0.05
na := 700
ω1 := $\frac{\pi}{30}$ ·na
ω2 := $\frac{\pi}{30}$ ·na
k1 := m1·ω1²
k2 := m2·ω2²
sx := 0.03
sy := 0.03

bx := ξx·2·√kx·m
by := ξy·2·√ky·m
b1 := ξ1·2·√k1·m1
b2 := ξ2·2·√k2·m2
j := √-1
i := 0..4
ω := 0, 1..150
n(ω) := $\frac{30}{\pi}$ ·ω
ω1 = 73.304
bx = 1.342 × 10³
ω2 = 73.304
by = 3.674 × 10³
k1 = 1.612 × 10⁵
b1 = 219.911
k2 = 1.612 × 10⁵
b2 = 219.911

$$M := \begin{pmatrix} m & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m2 \end{pmatrix}$$

$$B := \begin{pmatrix} b1 + 2 \cdot bx & 0 & b1 \cdot \eta1 - 2 \cdot h \cdot bx & -b1 & 0 \\ 0 & b2 + 2 \cdot by & b2 \cdot \zeta2 + by \cdot (l1 - l2) & 0 & -b2 \\ b1 \cdot \eta1 - 2 \cdot h \cdot bx & b2 \cdot \zeta2 + by \cdot (l1 - l2) & b1 \cdot \eta1^2 + b2 \cdot \zeta2^2 + 2 \cdot bx \cdot h^2 + by \cdot (l1^2 + l2^2) & -\eta1 \cdot b1 & -\zeta2 \cdot b2 \\ -b1 & 0 & -\eta1 \cdot b1 & b1 & 0 \\ 0 & -b2 & -\zeta2 \cdot b2 & 0 & b2 \end{pmatrix}$$

$$K := \begin{pmatrix} k1 + 2 \cdot kx & 0 & k1 \cdot \eta1 - 2 \cdot h \cdot kx & -k1 & 0 \\ 0 & k2 + 2 \cdot ky & k2 \cdot \zeta2 + ky \cdot (l1 - l2) & 0 & -k2 \\ k1 \cdot \eta1 - 2 \cdot h \cdot kx & k2 \cdot \zeta2 + ky \cdot (l1 - l2) & k1 \cdot \eta1^2 + k2 \cdot \zeta2^2 + 2 \cdot kx \cdot h^2 + ky \cdot (l1^2 + l2^2) & -\eta1 \cdot k1 & -\zeta2 \cdot k2 \\ -k1 & 0 & -\eta1 \cdot k1 & k1 & 0 \\ 0 & -k2 & -\zeta2 \cdot k2 & 0 & k2 \end{pmatrix}$$

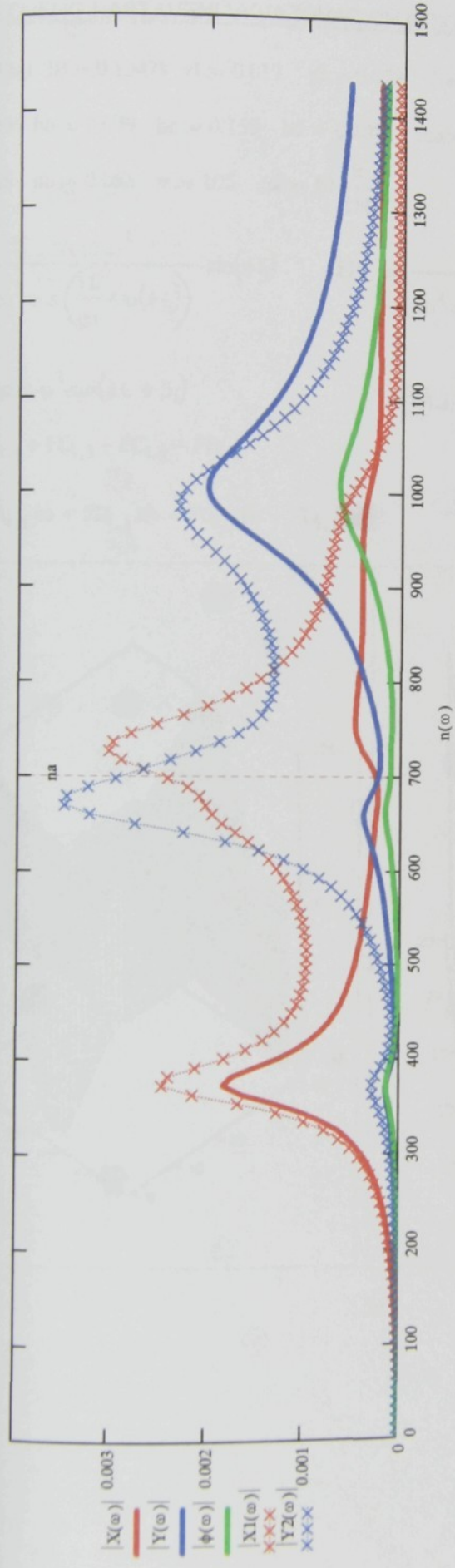
$$f(\omega) := \begin{pmatrix} mx \cdot sx \cdot \omega^2 \\ my \cdot sy \cdot \omega^2 \\ (mx \cdot sx \cdot \eta + my \cdot sy \cdot \zeta) \cdot \omega^2 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

λ0 := eigenvals(M⁻¹·K)
λ := sort(λ0)
Ωi := √λi
Ω^T = (39.039 69.798 76.323 104.446 623.336)

Ni := $\frac{30}{\pi}$ ·Ωi
N^T = (372.793 666.523 728.834 997.388 5.952 × 10³)

q(ω) := (K - ω²·M + j·ω·B)⁻¹·f(ω)
X(ω) := q(ω)₀
Y(ω) := q(ω)₁
X1(ω) := q(ω)₃
Y2(ω) := q(ω)₄
φ(ω) := q(ω)₂

PRÍLOHA č.1 (2/2)



PRÍLOHA c.2_A (1/1)

VLIV UHLOVEHO NASTAVENÍ VYVAZOVACÍCH HRIDELÍ STROJE KV3-06-250

IA:= 0.23741 IB:= 0.10479 r1:= 0.019 r2:= 0.023 i:= 0,1..41 j:= 0,1..25

ha:= 0.109 hb:= 0.079 hc:= 0.159 hd:= 0.189 mc:= 8 rc:= 0.0345

pa:= 0.086 pb:= 0.086 ω:= 105 α:= 10·π/180

FAi,j:= (IA·r1·ω² / (pa²·cos(r1/pa·sin(φ1j)))) · sin(φ1j) FBi,j:= (IB·r2·ω² / (pb²·cos(r2/pb·sin(φ1j + α)))) · sin(φ1j + α)

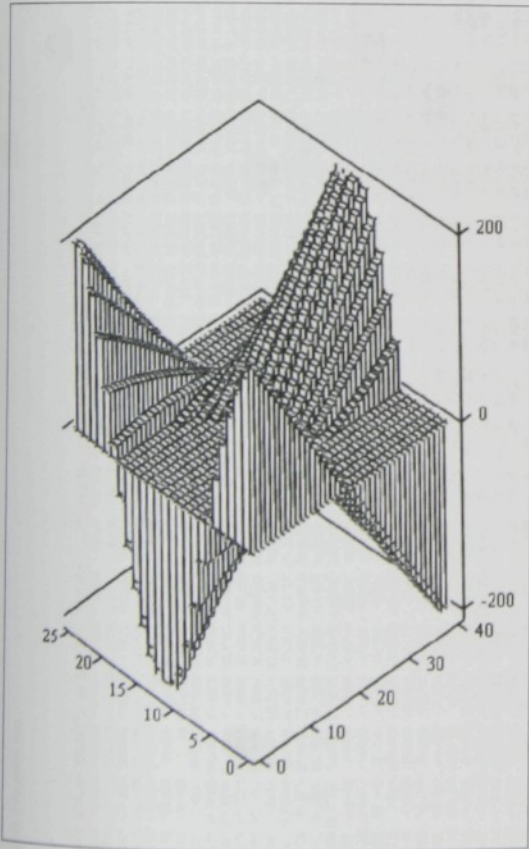
FCi,j:= mc·rc·ω² · sin(φ1j + βi) FDi,j:= FCi,j

Fi,j:= FAi,j + FDi,j - FCi,j - FBi,j

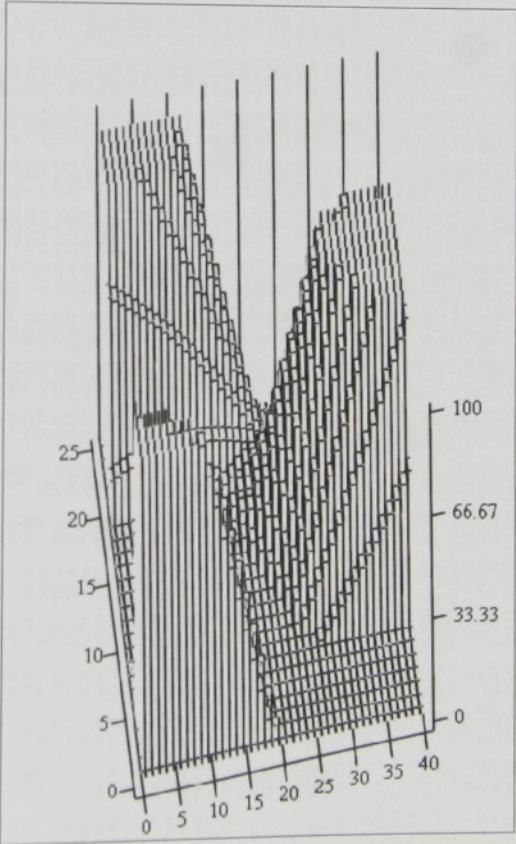
Mi,j:= FAi,j·ha + FBi,j·hb - FCi,j·hc - FDi,j·hd

βi:= φ1j:=

-0.15	0
-0.14	0.25
-0.13	0.5
-0.12	0.75
-0.11	1
-0.10	1.25
-0.09	1.5
-0.08	1.75
-0.07	2
-0.06	2.25
-0.05	2.5
-0.04	2.75
-0.03	3
-0.02	3.25
-0.01	3.5
0	3.75
0.01	4
0.02	4.25
0.03	4.5
0.04	4.75
0.05	5
0.06	5.25
0.07	5.5
0.08	5.75
0.09	6
0.1	6.25
0.11	
0.12	
0.13	
0.14	
0.15	
0.16	
0.17	
0.18	
0.19	
0.2	
0.21	
0.22	
0.23	
0.24	
0.25	
0.26	



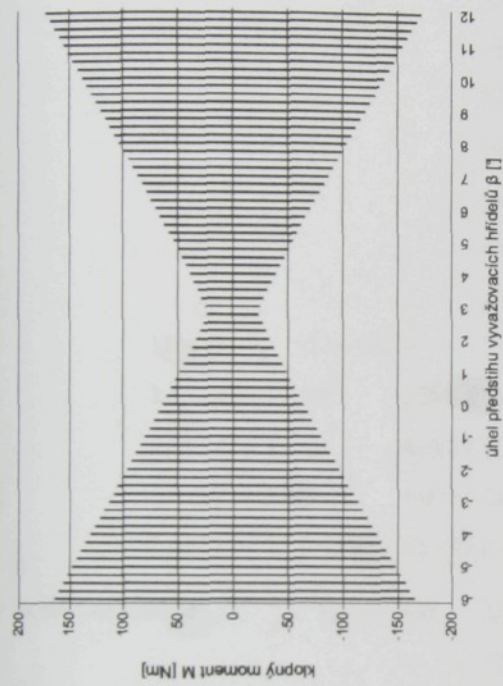
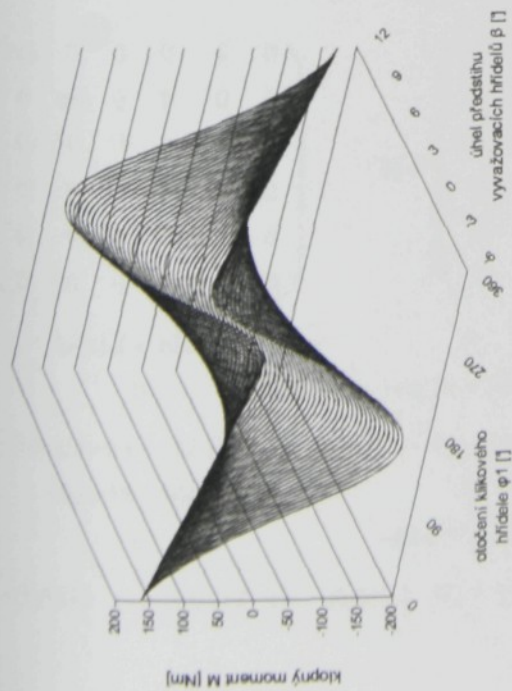
M



M

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80																				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80																				



PRILOHA c.3 (1/4)

ANALYTICKE REŠENÍ ROVINNEHO MODELU STROJE KV3-06-250

Hodnoty pilky: $m_A := 3.876$ $I_A := 0.175$ $r_{0A} := 0.019$ $p_A := 0.086$ $m_{Az} := 0.1 \cdot m_A$

Hodnoty listy: $m_B := 2.875$ $I_B := 0.135$ $r_{0B} := 0.023$ $p_B := 0.086$ $m_{Bz} := 0.1 \cdot m_B$

Hodnoty kladece: $m_l := 550$ $I_l := 31.5$ $h := 0.177 - 0.015$

$$h_A := 0.271 - h \quad h_A = 0.109$$

$$h_B := 0.188 - h_A \quad h_B = 0.079$$

$$h_D := 0.351 - h \quad h_D = 0.189$$

$$h_C := 0.348 - h_D \quad h_C = 0.159$$

$$I_l := 0.17 + (0.02) \quad I_l = 0.19$$

$$I_2 := 0.45 - I_l \quad I_2 = 0.26$$

$$I_0 := I_l - 0.115 \quad I_0 = 0.075$$

$$D := 0.07 \quad d := 0.054 \quad L := 2.735 \quad \rho := 7800$$

$$k_{Ax12} := 1 \cdot 10^6 \quad k_{Bx12} := k_{Ax12}$$

$$k_{Ay12} := 1 \cdot 10^7 \quad k_{By12} := k_{Ay12} \cdot 0.25 \quad k_{By12} = 2.5 \times 10^6$$

$$b_{Ax12} := 5.6 \cdot 10^3 \quad b_{Bx12} := b_{Ax12}$$

$$b_{Ay12} := 15.6 \cdot 10^3 \quad b_{By12} := b_{Ay12} \cdot 0.25 \quad b_{By12} = 3.9 \times 10^3$$

Hodnoty zkusební stolice: $m_2 := 500$ $I_2 := 60$ $r := 0.468$ $p := 0.415$

$$I_3 := 0.09 \quad I_4 := 0.36 \quad I_5 := 0.4 \quad I_6 := 0.8$$

$$k_{Ax23} := 1.1 \cdot 10^6 \quad k_{Bx23} := k_{Ax23}$$

$$k_{Ay23} := 5 \cdot 10^6 \quad k_{By23} := k_{Ay23}$$

$$b_{Ax23} := 3 \cdot 10^4 \quad b_{Bx23} := b_{Ax23}$$

$$b_{Ay23} := 3 \cdot 10^4 \quad b_{By23} := b_{Ay23}$$

$$j := \sqrt{-1} \quad i := 0..5 \quad \omega := 0..200 \quad n(\omega) := \frac{30}{\pi} \cdot \omega$$

$$M := \begin{pmatrix} m_l & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_l & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_l & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_2 \end{pmatrix} \quad M = \begin{pmatrix} 550 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 550 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 31.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 500 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 500 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 60 \end{pmatrix}$$

$$B := \begin{pmatrix} b_{Ax12} + b_{Bx12} & 0 & -(b_{Ax12} \cdot h) - (b_{Bx12} \cdot h) \\ 0 & b_{Ay12} + b_{By12} & (b_{Ay12} \cdot I_l) - (b_{By12} \cdot I_2) \\ -(b_{Ax12} \cdot h) - (b_{Bx12} \cdot h) & (b_{Ay12} \cdot I_l) - (b_{By12} \cdot I_2) & (b_{Ax12} \cdot h^2) + (b_{Bx12} \cdot h^2) + (b_{Ay12} \cdot I_l^2) + \\ -b_{Ax12} - b_{Bx12} & 0 & (b_{Ax12} \cdot h) + (b_{Bx12} \cdot h) \\ 0 & -b_{Ay12} - b_{By12} & -(b_{Ay12} \cdot I_l) + (b_{By12} \cdot I_2) \\ -(b_{Ax12} \cdot r) - (b_{Bx12} \cdot r) & -(b_{Ay12} \cdot I_3) + (b_{By12} \cdot I_4) & -(b_{Ay12} \cdot I_3 \cdot I_l) - (b_{By12} \cdot I_4 \cdot I_2) + (b_{Ax12} \cdot r \cdot h) \end{pmatrix}$$

PRILOHA c.3 (2/4)

$$B = \begin{pmatrix} 1.12 \times 10^4 & 0 & -1.814 \times 10^3 & -1.12 \times 10^4 & 0 & -5.242 \times 10^3 \\ 0 & 1.95 \times 10^4 & 1.95 \times 10^3 & 0 & -1.95 \times 10^4 & 0 \\ -1.814 \times 10^3 & 1.95 \times 10^3 & 1.121 \times 10^3 & 1.814 \times 10^3 & -1.95 \times 10^3 & 217.339 \\ -1.12 \times 10^4 & 0 & 1.814 \times 10^3 & 7.12 \times 10^4 & 0 & -1.966 \times 10^4 \\ 0 & -1.95 \times 10^4 & -1.95 \times 10^3 & 0 & 7.95 \times 10^4 & -1.2 \times 10^4 \\ -5.242 \times 10^3 & 0 & 217.339 & -1.966 \times 10^4 & -1.2 \times 10^4 & 3.742 \times 10^4 \end{pmatrix}$$

$$K := \begin{pmatrix} k_{Ax12} + k_{Bx12} & 0 & -(k_{Ax12} \cdot h) - (k_{Bx12} \cdot h) \\ 0 & k_{Ay12} + k_{By12} & (k_{Ay12} \cdot l_1) - (k_{By12} \cdot l_2) \\ -(k_{Ax12} \cdot h) - (k_{Bx12} \cdot h) & (k_{Ay12} \cdot l_1) - (k_{By12} \cdot l_2) & (k_{Ax12} \cdot h^2) + (k_{Bx12} \cdot h^2) + (k_{Ay12} \cdot l_1^2) + \\ -k_{Ax12} - k_{Bx12} & 0 & (k_{Ax12} \cdot h) + (k_{Bx12} \cdot h) \\ 0 & -k_{Ay12} - k_{By12} & -(k_{Ay12} \cdot l_1) + (k_{By12} \cdot l_2) \\ -(k_{Ax12} \cdot r) - (k_{Bx12} \cdot r) & -(k_{Ay12} \cdot l_3) + (k_{By12} \cdot l_4) & -(k_{Ay12} \cdot l_3 \cdot l_1) - (k_{By12} \cdot l_4 \cdot l_2) + (k_{Ax12} \cdot r \cdot h) \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} 2 \times 10^6 & 0 & -3.24 \times 10^5 & -2 \times 10^6 & 0 & -9.36 \times 10^5 \\ 0 & 1.25 \times 10^7 & 1.25 \times 10^6 & 0 & -1.25 \times 10^7 & 0 \\ -3.24 \times 10^5 & 1.25 \times 10^6 & 5.825 \times 10^5 & 3.24 \times 10^5 & -1.25 \times 10^6 & -2.534 \times 10^5 \\ -2 \times 10^6 & 0 & 3.24 \times 10^5 & 4.2 \times 10^6 & 0 & 2.3 \times 10^4 \\ 0 & -1.25 \times 10^7 & -1.25 \times 10^6 & 0 & 2.25 \times 10^7 & -2 \times 10^6 \\ -9.36 \times 10^5 & 0 & -2.534 \times 10^5 & 2.3 \times 10^4 & -2 \times 10^6 & 5.222 \times 10^6 \end{pmatrix}$$

Budící účinky:

$$A_{x1} := 2 \cdot m_A \cdot l_A^2 \cdot \frac{r_0 A}{p_A^2} \qquad A_{x1} = 0.61$$

$$A_{x2} := \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32} \cdot L \cdot \rho \cdot \frac{r_0 A}{p_A^2} \qquad A_{x2} = 0.083$$

$$A_x := A_{x1} + A_{x2} \qquad A_x = 0.693$$

$$A_y := -\left(m_{Az} \cdot l_A \cdot \frac{r_0 A}{p_A}\right) \qquad A_y = -0.015$$

$$B_{x1} := 2 \cdot m_B \cdot l_B^2 \cdot \frac{r_0 B}{p_B^2} \qquad B_{x1} = 0.326$$

$$B_{x2} := \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32} \cdot L \cdot \rho \cdot \frac{r_0 B}{p_B^2} \qquad B_{x2} = 0.101$$

$$B_{x3} := -\left(m_{Bz} \cdot l_B \cdot \frac{r_0 B}{p_B}\right) \qquad B_{x3} = -0.01$$

PRILOHA c.3 (3/4)

$$B_x := B_{x1} + B_{x2} + B_{x3}$$

$$B_x = 0.417$$

$$B_y := 0$$

$$B_y = 0$$

$$a000171$$

$$b133370$$

$$C_x := B_x \cdot \frac{h_B}{h_C} \cdot 1.33370$$

$$D_x := C_x$$

$$C_x = 0.276$$

vzdálenost těžiště rot. závazí od osy otáčení:

$$r_C := 0.0345$$

hmotnost spodního rotačního závazí [kg]:
(tento parametr volený v sim. řešení)

$$m_C := \frac{C_x}{r_C}$$

$$m_C = 8$$

$$F_x := A_x - B_x$$

$$F_x = 0.277$$

$$F_y := A_y - B_y$$

$$F_y = -0.015$$

$$M_k := (A_x \cdot h_A) + (B_x \cdot h_B) - (C_x \cdot h_C) - (D_x \cdot h_D) + (A_y \cdot l_0) - (B_y \cdot l_0)$$

$$M_k = 0.011$$

$$f(\omega) := \begin{pmatrix} F_x \cdot \omega^2 \\ F_y \cdot \omega^2 \\ M_k \cdot \omega^2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$\lambda_0 := \text{eigenvals}(M^{-1} \cdot K)$$

$$\Omega_{0i} := \sqrt{\lambda_{0i}} \quad \Omega_0^T = (301.535 \quad 249.147 \quad 127.467 \quad 33.549 \quad 92.664 \quad 79.562)$$

$$N_{0i} := \frac{30}{\pi} \cdot \Omega_{0i}$$

$$N_0^T = (2.879 \times 10^3 \quad 2.379 \times 10^3 \quad 1.217 \times 10^3 \quad 320.374 \quad 884.88 \quad 759.765)$$

$$\lambda := \text{sort}(\lambda_0) \quad \Omega_i := \sqrt{\lambda_i} \quad \Omega^T = (33.549 \quad 79.562 \quad 92.664 \quad 127.467 \quad 249.147 \quad 301.535)$$

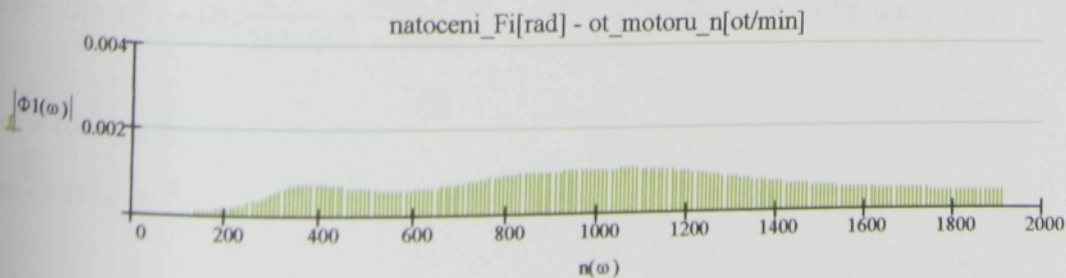
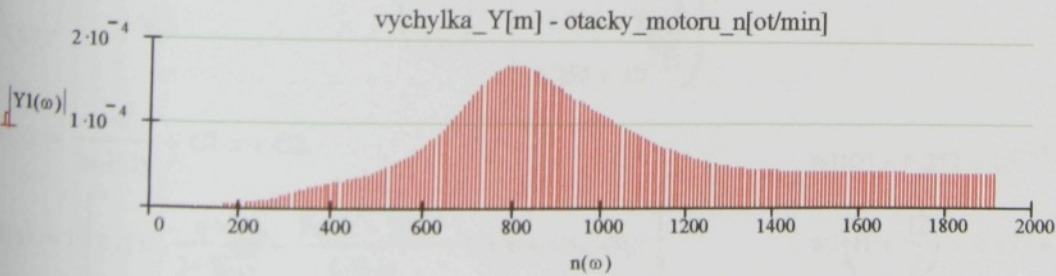
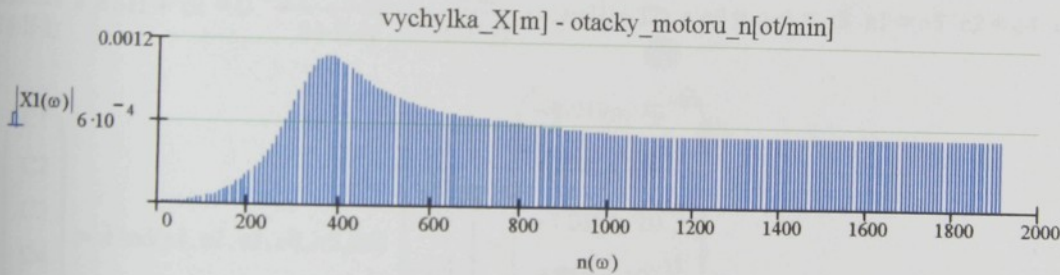
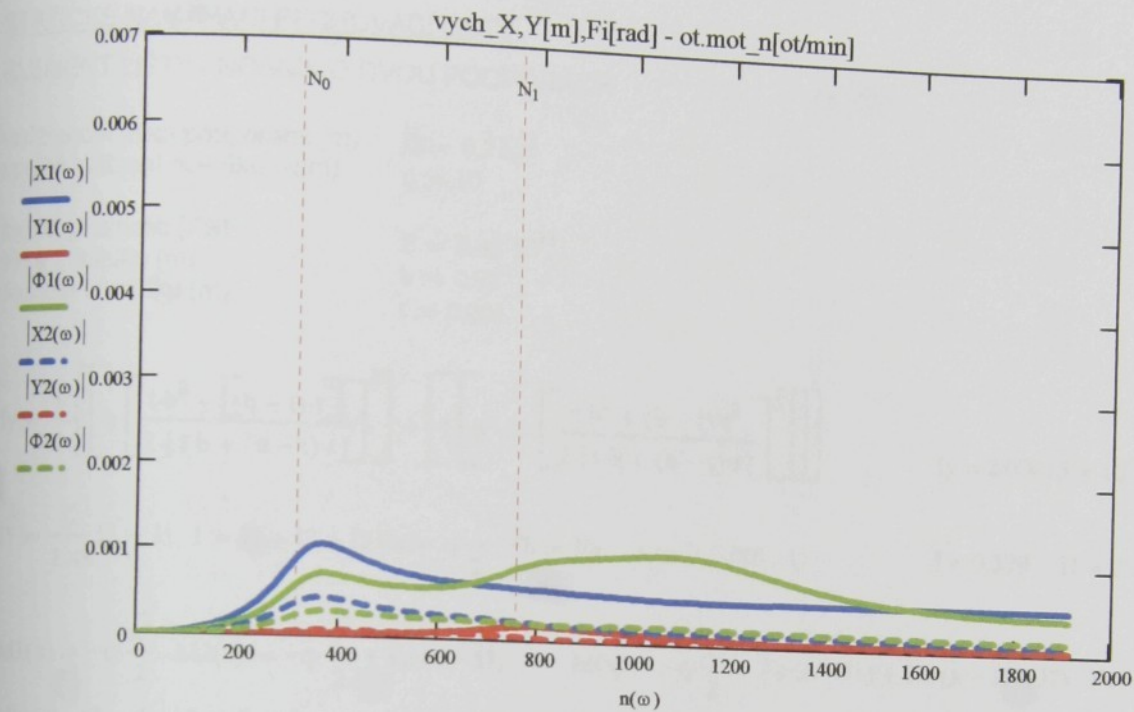
$$N_i := \frac{30}{\pi} \cdot \Omega_i$$

$$N^T = (320.374 \quad 759.765 \quad 884.88 \quad 1.217 \times 10^3 \quad 2.379 \times 10^3 \quad 2.879 \times 10^3)$$

$$q(\omega) := (K - \omega^2 \cdot M + j \cdot \omega \cdot B)^{-1} \cdot f(\omega)$$

$$X1(\omega) := q(\omega)_0 \quad Y1(\omega) := q(\omega)_1 \quad \Phi1(\omega) := q(\omega)_2 \quad X2(\omega) := q(\omega)_3 \quad Y2(\omega) := q(\omega)_4 \quad \Phi2(\omega) := q(\omega)_5$$

PRÍLOHA c.3 (4/4)



PRILOHA c.4 (1/2)

STATICKÉ NAMAHAŇÍ PECHOVACÍ LISTY

ELEMENT LIŠTY - NOSNÍK O DVOU PODPORÁCH

$$\begin{aligned} \text{vzdálenost mezi podporami (m)} & \quad l_2 := 0.21 \\ \text{spojité zatížení nosníku (N/m)} & \quad q := 10 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{modul pružnosti (Pa)} & \quad E := 0.45 \cdot 10^{11} \\ \text{šířka úhelníku (m)} & \quad b := 0.02 \\ \text{tloušťka úhelníku (m)} & \quad t := 0.003 \end{aligned}$$

$$I_y := \frac{1}{3} \cdot \left[b \cdot \left[\frac{t \cdot b^2 + (b-t) \cdot t^2}{2 \cdot [t \cdot b + (b-t) \cdot t]} \right]^3 + \left[t \cdot \left[b - b \cdot \frac{t \cdot b^2 + (b-t) \cdot t^2}{2 \cdot [t \cdot b + (b-t) \cdot t]} \right]^3 \right]$$

$$I_y = 2.00015 \times 10^{-5}$$

$$l_1 := \frac{l_2}{2.48} \quad l_3 := l_1 \quad l := l_1 + l_2 + l_3 \quad F_a := q \cdot \frac{l}{2} \quad F_b := F_a \quad x := 0, 0.001 \dots 1$$

$$l = 0.379 \quad l_1 = 0.08468$$

$$M_1(x) := -q \cdot \frac{x^2}{2} \quad M_2(x) := -q \cdot \frac{x^2}{2} + F_a \cdot (x - l_1) \quad M(x) := -q \cdot \frac{x^2}{2} + F_a \cdot (x - l_1) + F_b \cdot (x - l_1 - l_2) \quad F_a = 1.897$$

$$c_1 := 0 \quad c_2 := 0 \quad c_3 := 0 \quad c_4 := 0 \quad c_5 := 0 \quad c_6 := 0$$

Given

$$\frac{q \cdot l_1^4}{24 \cdot E \cdot I_y} + c_1 \cdot l_1 + c_2 = 0 \quad \frac{q \cdot (l_1 + l_2)^4}{24 \cdot E \cdot I_y} - \frac{F_a \cdot l_2^3}{6 \cdot E \cdot I_y} + c_1 \cdot (l_1 + l_2) + c_6 = 0 \quad c_1 = c_3 \quad c_1 = c_5 \quad c_2 = c_4 \quad c_2 = c_6$$

$$\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \end{pmatrix} := \text{Find}(c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6) \quad \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1.019 \times 10^{-9} \\ 6.252 \times 10^{-11} \\ -1.019 \times 10^{-9} \\ 6.252 \times 10^{-11} \\ -1.019 \times 10^{-9} \\ 6.252 \times 10^{-11} \end{pmatrix}$$

$$w_1(x) := \frac{q \cdot x^4}{24 \cdot E \cdot I_y} + C_1 \cdot x + C_2$$

$$w_1(0) = 6.252 \times 10^{-11}$$

$$w_2(x) := \text{if} \left[x \geq l_1, \frac{q \cdot x^4}{24 \cdot E \cdot I_y} - \frac{F_a \cdot (x - l_1)^3}{6 \cdot E \cdot I_y} + C_3 \cdot x + C_4, w_1(x) \right]$$

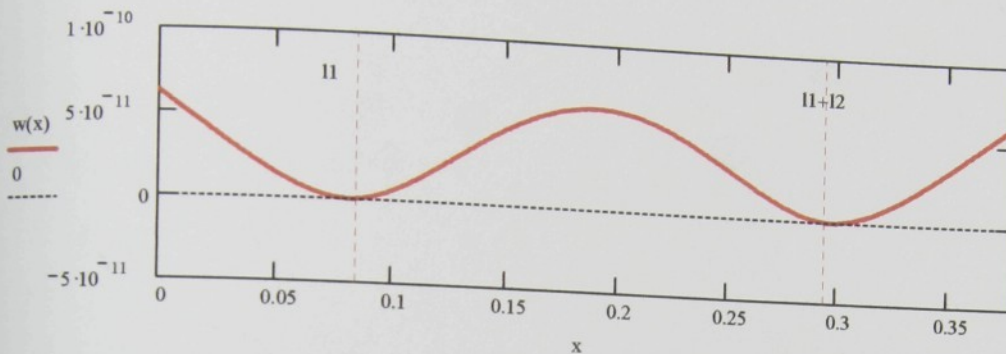
$$w_2\left(l_1 + \frac{l_2}{2}\right) = 6.177 \times 10^{-11}$$

$$w(x) := \text{if} \left[x \geq (l_1 + l_2), \frac{q \cdot x^4}{24 \cdot E \cdot I_y} - \frac{F_a \cdot (x - l_1)^3}{6 \cdot E \cdot I_y} - \frac{F_b \cdot (x - l_1 - l_2)^3}{6 \cdot E \cdot I_y} + C_5 \cdot x + C_6, w_2(x) \right]$$

$$mm := 1000 \cdot w_1(0)$$

$$mm = 6.252 \times 10^{-8}$$

PRILOHA c.4 (2/2)



$$w(0) = 6.252 \times 10^{-11}$$

$$w\left(\frac{1}{2}\right) = 6.177 \times 10^{-11}$$

$$w(l) = 6.252 \times 10^{-11}$$

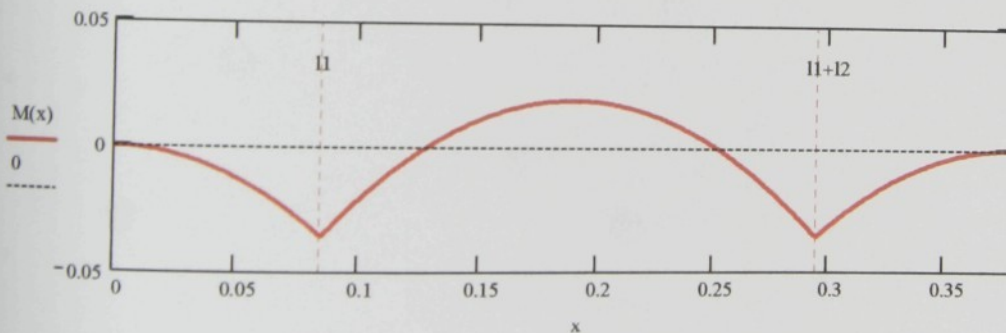
$$M_1(x) := -q \cdot \frac{x^2}{2}$$

$$M_1(0) = 0$$

$$M_2(x) := \text{if} \left[x \geq l_1, -q \cdot \frac{x^2}{2} + F_a \cdot (x - l_1), M_1(x) \right]$$

$$M_2\left(l_1 + \frac{l_2}{2}\right) = 0.019$$

$$M(x) := \text{if} \left[x \geq (l_1 + l_2), -q \cdot \frac{x^2}{2} + F_a \cdot (x - l_1) + F_b \cdot (x - l_1 - l_2), M_2(x) \right]$$



Analýza napětí Lista_CosXpress

- 1. Úvod
- 2. Informace o souboru
- 3. Materiály
- 4. Informace o zatížení a uchycení
- 5. Vlastnost studie
- 6. Výsledky napětí
- 7. Výsledky posunu
- 8. Výsledky deformace
- 9. Dodatek

1. Úvod

Shrnutí analýzy FEM Lista_CosXpress

2. Informace o souboru

Název modelu:	Lista_CosXpress
Umístění modelu:	D:\LUDEK\PHD-studium\Lin_Stat_Analyzy\Lista_CosXpress.SLDPRT
Umístění výsledků:	C:\DOCUME~1\Biba\LOCALS~1\Temp

3. Materiály

Č.	Název dílu	Materiál	Hmot	Objem
1	Lista_CosXpress	[SW]SklóRoving-PESpryskyrice	0.0902754 kg	4.29883e-005 m^3

4. Informace o zatížení a uchycení

Uchycení

Uchycení1 <Lista_CosXpress>	zapnuto 4 Plocha(y) nepohyblivé (žádný posun).
Popis:	

Zatížení

Zatížení1 <Lista_CosXpress>	zapnuto 1 Plocha(y) s tlakem500 N/m^2 ve směru kolmém k vybrané ploše
Popis:	

5. Vlastnost studie

Informace o síti

Typ sítě:	Objemová síť
Použitá síť:	Základní
Automatický přechod:	Vypnuto
Hladký povrch:	Zapnuto
Kontrola Jakobího:	4 Points
Velikost elementu:	3.5042 mm
Tolerance:	0.17521 mm
Kvalita:	Vysoká
Počet elementů:	7599
Počet uzlů:	15843

Informace o řešiči

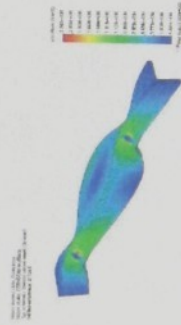
Kvalita:	Vysoká
Typ řešiče:	FFE

6. Výsledky napětí

Název	Typ	Min	Umístění	Max	Umístění
Obrázek1	VON: Napětí von Mises	433.069 N/m^2	(1.5 mm, -16.6333 mm, -175.592 mm)	224238 N/m^2	(0 mm, -10.855 mm, -98.8297 mm)

Lista_CosXpress-COSMOSXpressStudy-Napětí-Obrázek1

JPEG



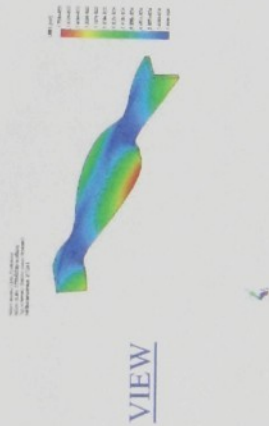
VIEW

7. Výsledky posunu

Název	Typ	Min	Umístění	Max	Umístění
Obrázek2	URES: Výsledný posun	0 mm	(-0.1 mm, -5.66987 mm, 107.5 mm)	0.00178037 mm	(0 mm, -20 mm, -4.05312e-006 mm)

Lista_CosXpress-COSMOSXpressStudy-Posun-Obrázek2

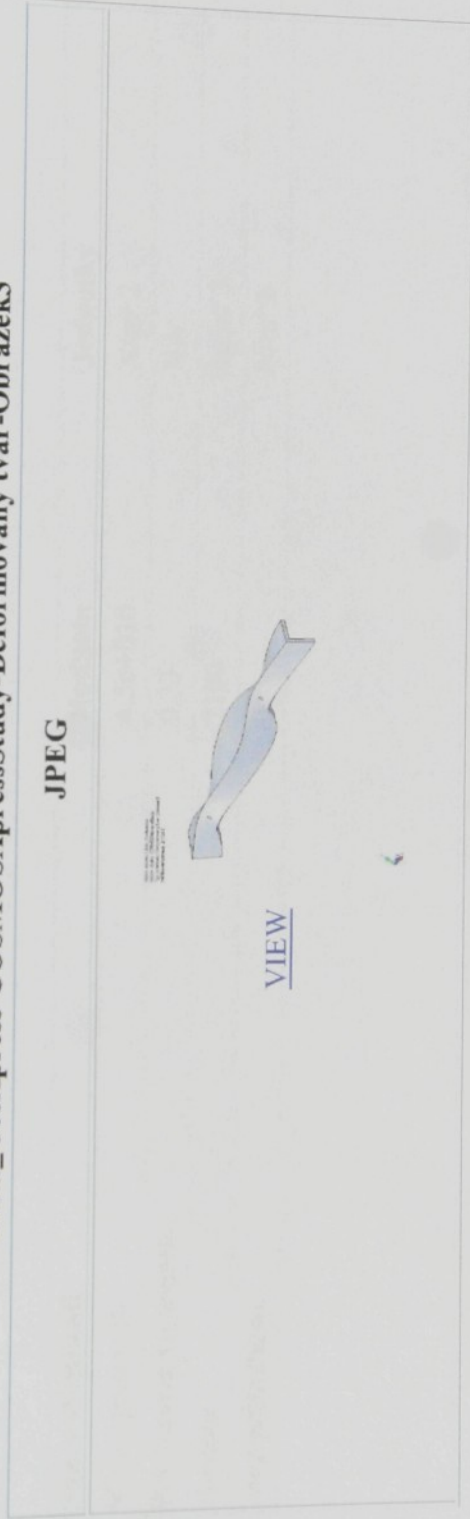
JPEG



8. Výsledky deformace

Č. obrázku	Faktor měřítka
1	21728

Lista_CosXpress-COSMOSXpressStudy-Deformovaný tvar-Obrázek3



9. Dodatek

Název materiálu:

[SW]SkloRoving-PESpryskyrice

Popis:

Zdroj materiálu:

Použitý materiál SolidWorks

Název knihovny materiálů:

Typ modelu materiálů:

Lineární elastický izotropní

Název vlastnosti	Hodnota	Jednotky
Modul pružnosti	4.5e+010	N/m^2
Poissonova konstanta	0.33	NA
Hustota	2100	kg/m^3
Mez průtažnosti	0	N/m^2

COSMOSXpress Výsledky analýzy návrhu jsou založeny na lineárním statickém výpočtu a předpokladu že materiál je izotropní. Lineární statický výpočet předpokládá že: 1) chování materiálu je lineární a dodržuje Hookův zákon, 2) indukované posuny jsou přiměřeně malé a lze ignorovat změny v tuhosti způsobené zatížením a 3) zatížení jsou aplikována pomalu, aby bylo možné ignorovat dynamické účinky.

Nezakládejte rozhodnutí o návrhu jen na datech v této zprávě. Použijte tyto informace ve spojení s pokusnými daty a praktickými zkušenostmi. Provozní zkoušky jsou nutné pro ověření závěrečného návrhu. COSMOSXpress pomůže ve zrychlení návrhu snížením (ale ne úplným odstraněním) provozních zkoušek.

PRILOHA c.6 (1/2)

PRUHYB HRIDELE PRI KROUZIVEM KMITANI U STROJE KV3-06-250

$$\begin{aligned} m_a &:= 3.876 & r_1 &:= 0.019 & D &:= 0.07 & D_1 &:= 0.14 & h_A &:= 0.109 \\ m_b &:= 2.875 & r_2 &:= 0.023 & d &:= 0.054 & d_1 &:= 0.07 & h_B &:= 0.079 \\ l_a &:= 0.175 & r_c &:= 0.0345 & L &:= 2.735 & b &:= 0.055 & h_C &:= 0.159 \\ l_b &:= 0.135 & r_d &:= 0.0345 & \rho &:= 7800 & & & h_D &:= 0.189 \\ p_a &:= 0.086 & & & & & & & & \\ p_b &:= 0.086 & & & & & & & & \end{aligned}$$

$$I_{tr} := \frac{\pi \cdot \rho \cdot L}{32} \cdot (D^4 - d^4) \quad I_{tr} = 0.0325$$

$$I_{pa} := \frac{\pi \cdot \rho \cdot b}{32} \cdot (D_1^4 - d_1^4) \quad I_{pa} = 0.0152 \quad I_{pb} := I_{pa} \quad m_a \cdot l_a^2 = 0.1187 \quad m_b \cdot l_b^2 = 0.0524$$

$$2 \cdot m_a \cdot l_a^2 = 0.2374 \quad 2 \cdot m_b \cdot l_b^2 = 0.10479$$

$$m_d := \frac{r_1 \cdot h_A}{p_a^2 \cdot r_d \cdot h_D} \cdot (2 \cdot m_a \cdot l_a^2 + I_{tr} + I_{pa}) \quad m_d = 12.2412$$

$$m_c := \frac{r_2 \cdot h_B}{p_b^2 \cdot r_c \cdot h_C} \cdot (2 \cdot m_b \cdot l_b^2 + I_{tr} + I_{pb}) \quad m_c = 6.8271$$

pozn.: uvažujeme stejné rotační závazí, tj. $m_c = m_d$ (aritmetický průměr)

$$m_{rot} := \frac{m_c + m_d}{2} \quad m_{rot} = 9.53417$$

$$l := 2.712 \quad d_2 := 0.049 \quad d_3 := 0.029 \quad E := 2.1 \cdot 10^{11} \quad x := 0, 0.1 \dots 1 \quad \omega := 105$$

$$I_y := \frac{\pi \cdot (d_2^4 - d_3^4)}{64} \quad I_y = 2.4826 \times 10^{-7} \quad q := \frac{m_{rot} \cdot r_c \cdot \omega^2}{l} \quad q = 1.33718 \times 10^3$$

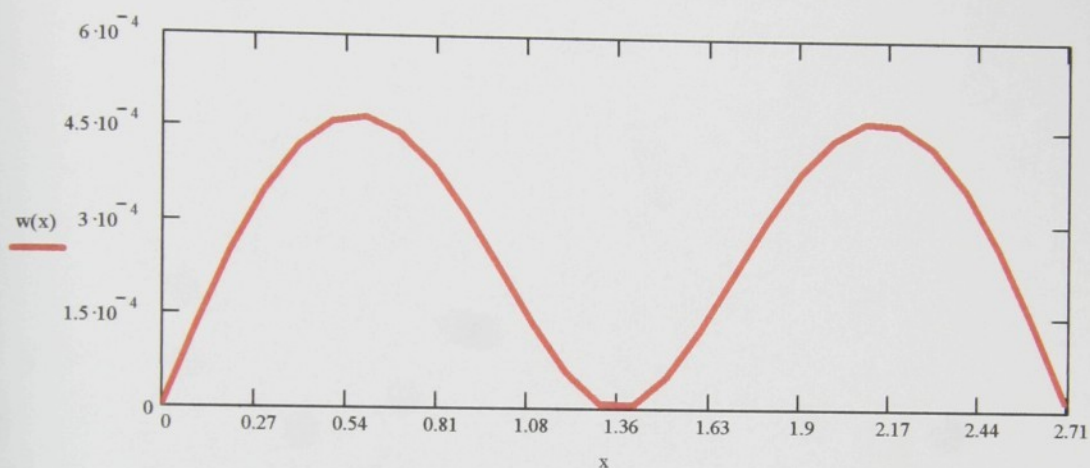
$$C_2 := 0 \quad C_4 := 0 \quad R_a := \frac{3}{16} \cdot q \cdot l \quad C_1 := \frac{q \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot I_y} \quad C_3 := C_1 \quad R_b := \frac{5}{8} \cdot q \cdot l$$

$$R_a = 679.95792$$

$$R_b = 2.26653 \times 10^3$$

PRILOHA c.6 (2/2)

$$w(x) := \text{if} \left[x \geq \left(\frac{1}{2} \right), \frac{q \cdot x^4}{24 \cdot E \cdot I_y} - \frac{R_a \cdot x^3}{6 \cdot E \cdot I_y} - \frac{R_b \cdot \left(x - \frac{1}{2} \right)^3}{6 \cdot E \cdot I_y} + C_3 \cdot x + C_4, \frac{q \cdot x^4}{24 \cdot E \cdot I_y} - \frac{R_a \cdot x^3}{6 \cdot E \cdot I_y} + C_1 \cdot x + C_2 \right]$$



PRÍLOHA č.7 (1/7)

Torzní a ohybové kmitání pracovních hřídel pilky u stroje KV3-06-250
ANALYTICKÉ ŘEŠENÍ METODOU PŘENOSOVÝCH Matic

rozměr trubky $d := 0.054$ $D := 0.07$

materiálové vlastnosti $E := 2.1 \cdot 10^{11}$ $G := 8.1 \cdot 10^{10}$

rozměrové vlastnosti $J := \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$ $J = 7.612 \times 10^{-7}$

rozměry $pA := 0.086$ $r1 := 0.019$ $lA := 0.175$ $L := 2.735$

$i := 19..1$ $k_i := 0$ $k_1 := 1 \cdot 10^8$ $k_{10} := k_1 \cdot 10^{-1} \cdot 1.5$ $k_{18} := k_1$

hmotnost prac. elementu $mA_i := 0.5537$ $mA_1 := 0.0001$ $mA_{10} := 0.0001$ $mA_{18} := 0.0001$
 $mA_{19} := 0.0001$ $mA_8 := 2.0$

$\rho := 7800$ $I_{tr14} := \frac{\pi \cdot \rho \cdot L \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot 14}$ $I_{tr14} = 2.32 \times 10^{-3}$
 $I_i := (mA_i \cdot lA^2) + I_{tr14}$ $I_1 := 0.0001$ $I_8 := 0.0152$ $I_{10} := 0.0001$ $I_{18} := 0.0001$ $I_{19} := 0.0001$

$F_i := 0$ $F_8 := \frac{[mA_2 \cdot lA^2] + I_{tr14}}{pA^2} \cdot 14$ $F_8 = 0.693$

$Mk_i := F_i \cdot pA$ $Mk_8 = 0.06$

$l_i := 0$ $l_1 := 0.0155$ $l_2 := 0.1085$ $l_3 := 0.210$ $l_4 := 0.1695$ $l_8 := 0.103$ $l_9 := 0.0665$ $l_{11} := 0.1435$

PRÍLOHA č.7 (2/7)

$l_5 := l_3 \quad l_6 := l_4 \quad l_7 := l_3 \quad l_{10} := l_9 \quad l_{12} := l_4 \quad l_{13} := l_3 \quad l_{14} := l_4 \quad l_{15} := l_3 \quad l_{16} := l_4 \quad l_{17} := l_3$

$l_{18} := l_2 \quad l_{19} := l_1$

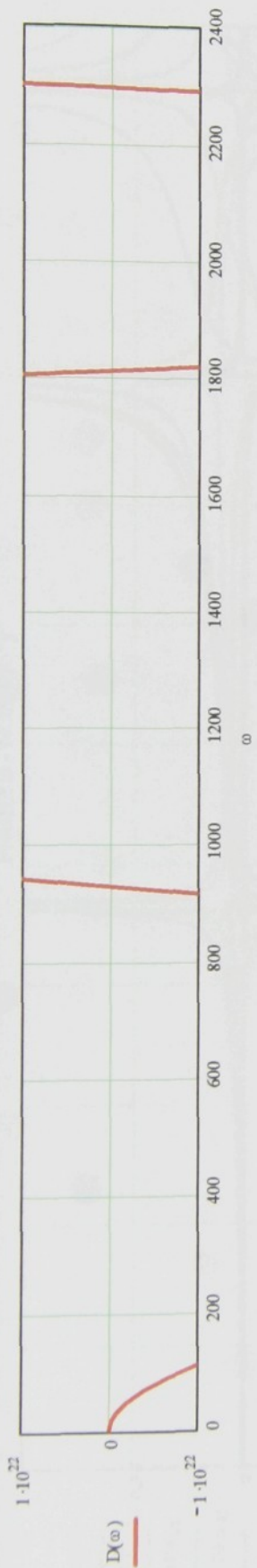
$H_i := \frac{32}{\pi \cdot G \cdot (D^4 - d^4)} \cdot l_i \quad \omega := 0, 10..2500$

$$A(i, \omega) := \begin{bmatrix} 1 & l_i & \frac{(l_i)^2}{2 \cdot E \cdot J} & \frac{(l_i)^3}{6 \cdot E \cdot J} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \frac{l_i}{E \cdot J} & \frac{(l_i)^2}{2 \cdot E \cdot J} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_i & 0 & 0 & 0 \\ (m A_i \cdot \omega^2) - k_i & l_i \cdot (m A_i \cdot \omega^2 - k_i) & \frac{(l_i)^2 \cdot (m A_i \cdot \omega^2 - k_i)}{2 \cdot E \cdot J} & 1 + \frac{(l_i)^3 \cdot (m A_i \cdot \omega^2 - k_i)}{6 \cdot E \cdot J} & m A_i \cdot \omega^2 \cdot l A & H_i \cdot m A_i \cdot \omega^2 \cdot l A & F_i \cdot \omega^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & H_i & 0 \\ -(m A_i \cdot \omega^2 \cdot l A) & -(l_i \cdot m A_i \cdot \omega^2 \cdot l A) & \frac{-[(l_i)^2 \cdot m A_i \cdot \omega^2 \cdot l A]}{2 \cdot E \cdot J} & \frac{-[(l_i)^3 \cdot m A_i \cdot \omega^2 \cdot l A]}{6 \cdot E \cdot J} & -I_i \cdot \omega^2 & 1 - (I_i \cdot \omega^2 \cdot H_i) & M k_i \cdot \omega^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$C(\omega) := \prod_i A(i, \omega)$

$$CR(\omega) := \begin{pmatrix} C(\omega)_{3,1} & C(\omega)_{3,2} & C(\omega)_{3,5} \\ C(\omega)_{4,1} & C(\omega)_{4,2} & C(\omega)_{4,5} \\ C(\omega)_{6,1} & C(\omega)_{6,2} & C(\omega)_{6,5} \end{pmatrix} \quad D(\omega) := |CR(\omega)| \quad DX(100) = -8.123 \times 10^{21} \quad DX(2000) = -2.024 \times 10^{23}$$

PRILoha c.7 (3/7)

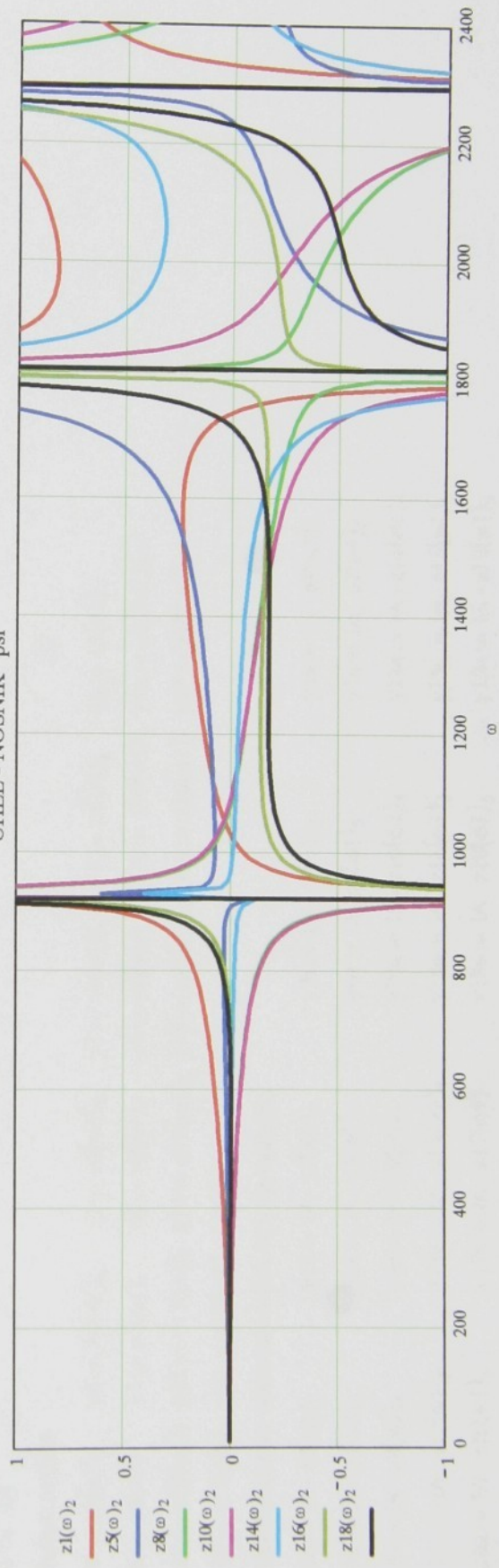
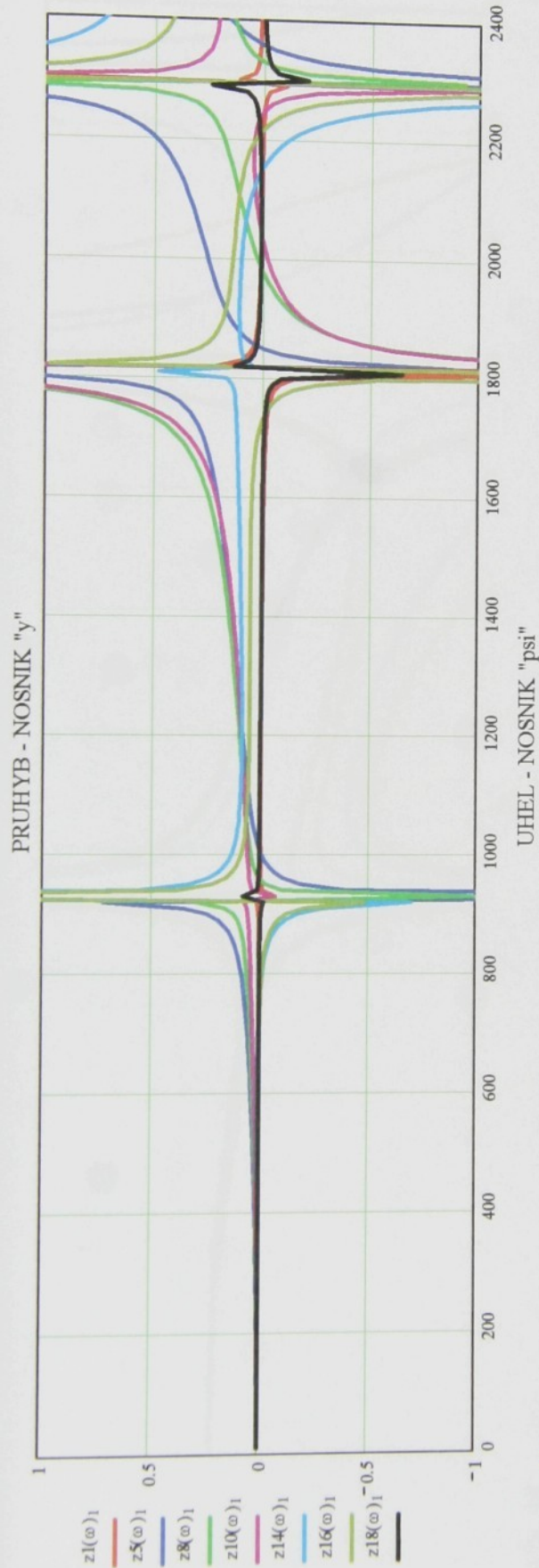


$$\omega_1 := 1500 \quad \text{Given} \quad D(\omega_1) = 0 \quad \Omega_1 := \text{Minerr}(\omega_1) \quad \Omega_1 = 0$$

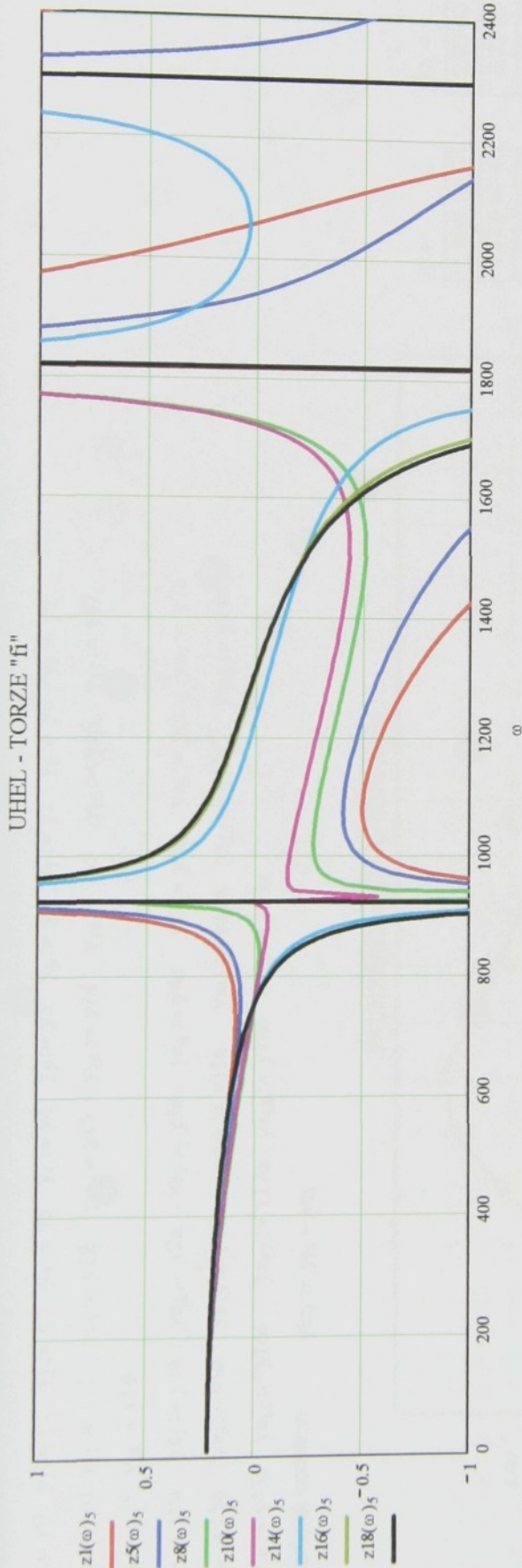
$$R(\omega) := \begin{pmatrix} C(\omega)_{3,1} & C(\omega)_{3,2} & C(\omega)_{3,5} \\ C(\omega)_{4,1} & C(\omega)_{4,2} & C(\omega)_{4,5} \\ C(\omega)_{6,1} & C(\omega)_{6,2} & C(\omega)_{6,5} \end{pmatrix} \quad q(\omega) := \begin{pmatrix} -C(\omega)_{3,7} \\ -C(\omega)_{4,7} \\ -C(\omega)_{6,7} \end{pmatrix} \quad X(\omega) := R(\omega)^{-1} \cdot q(\omega)$$

$$z0(\omega) := \begin{pmatrix} X(\omega)_1 \\ X(\omega)_2 \\ 0 \\ 0 \\ X(\omega)_3 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \begin{aligned} z1(\omega) &:= A(1, \omega) \cdot z0(\omega) & z2(\omega) &:= A(2, \omega) \cdot z1(\omega) & z3(\omega) &:= A(3, \omega) \cdot z2(\omega) \\ z4(\omega) &:= A(4, \omega) \cdot z3(\omega) & z5(\omega) &:= A(5, \omega) \cdot z4(\omega) & z6(\omega) &:= A(6, \omega) \cdot z5(\omega) \\ z7(\omega) &:= A(7, \omega) \cdot z6(\omega) & z8(\omega) &:= A(8, \omega) \cdot z7(\omega) & z9(\omega) &:= A(9, \omega) \cdot z8(\omega) \\ z10(\omega) &:= A(10, \omega) \cdot z9(\omega) & z11(\omega) &:= A(11, \omega) \cdot z10(\omega) & z12(\omega) &:= A(12, \omega) \cdot z11(\omega) \\ z13(\omega) &:= A(13, \omega) \cdot z12(\omega) & z14(\omega) &:= A(14, \omega) \cdot z13(\omega) & z15(\omega) &:= A(15, \omega) \cdot z14(\omega) \\ z16(\omega) &:= A(16, \omega) \cdot z15(\omega) & z17(\omega) &:= A(17, \omega) \cdot z16(\omega) & z18(\omega) &:= A(18, \omega) \cdot z17(\omega) \\ z19(\omega) &:= A(19, \omega) \cdot z18(\omega) \end{aligned}$$

PRÍLOHA c.7 (4/7)



PRÍLOHA C.7 (5/7)



$\omega_1 := 105$

Pruhyb hridele

$y_0 := z_0(\omega_1)_1$ $y_1 := z_1(\omega_1)_1$ $y_2 := z_2(\omega_1)_1$ $y_3 := z_3(\omega_1)_1$ $y_4 := z_4(\omega_1)_1$ $y_5 := z_5(\omega_1)_1$
 $y_6 := z_6(\omega_1)_1$ $y_7 := z_7(\omega_1)_1$ $y_8 := z_8(\omega_1)_1$ $y_9 := z_9(\omega_1)_1$ $y_{10} := z_{10}(\omega_1)_1$ $y_{11} := z_{11}(\omega_1)_1$
 $y_{12} := z_{12}(\omega_1)_1$ $y_{13} := z_{13}(\omega_1)_1$ $y_{14} := z_{14}(\omega_1)_1$ $y_{15} := z_{15}(\omega_1)_1$ $y_{16} := z_{16}(\omega_1)_1$ $y_{17} := z_{17}(\omega_1)_1$
 $y_{18} := z_{18}(\omega_1)_1$ $y_{19} := z_{19}(\omega_1)_1$

Posunutí konce ramínka vlivem uhlíkové vychylky

$y_{0a} := 1A \cdot z_0(\omega_1)_5$	$y_{1a} := 1A \cdot z_1(\omega_1)_5$	$y_{2a} := 1A \cdot z_2(\omega_1)_5$	$y_{3a} := 1A \cdot z_3(\omega_1)_5$
$y_{4a} := 1A \cdot z_4(\omega_1)_5$	$y_{5a} := 1A \cdot z_5(\omega_1)_5$	$y_{6a} := 1A \cdot z_6(\omega_1)_5$	$y_{7a} := 1A \cdot z_7(\omega_1)_5$
$y_{8a} := 1A \cdot z_8(\omega_1)_5$	$y_{9a} := 1A \cdot z_9(\omega_1)_5$	$y_{10a} := 1A \cdot z_{10}(\omega_1)_5$	$y_{11a} := 1A \cdot z_{11}(\omega_1)_5$
$y_{12a} := 1A \cdot z_{12}(\omega_1)_5$	$y_{13a} := 1A \cdot z_{13}(\omega_1)_5$	$y_{14a} := 1A \cdot z_{14}(\omega_1)_5$	$y_{15a} := 1A \cdot z_{15}(\omega_1)_5$
$y_{16a} := 1A \cdot z_{16}(\omega_1)_5$	$y_{17a} := 1A \cdot z_{17}(\omega_1)_5$	$y_{18a} := 1A \cdot z_{18}(\omega_1)_5$	$y_{19a} := 1A \cdot z_{19}(\omega_1)_5$

PRÍLOHA č.7 (6/7)

ORIGIN := 0 i := 0..19

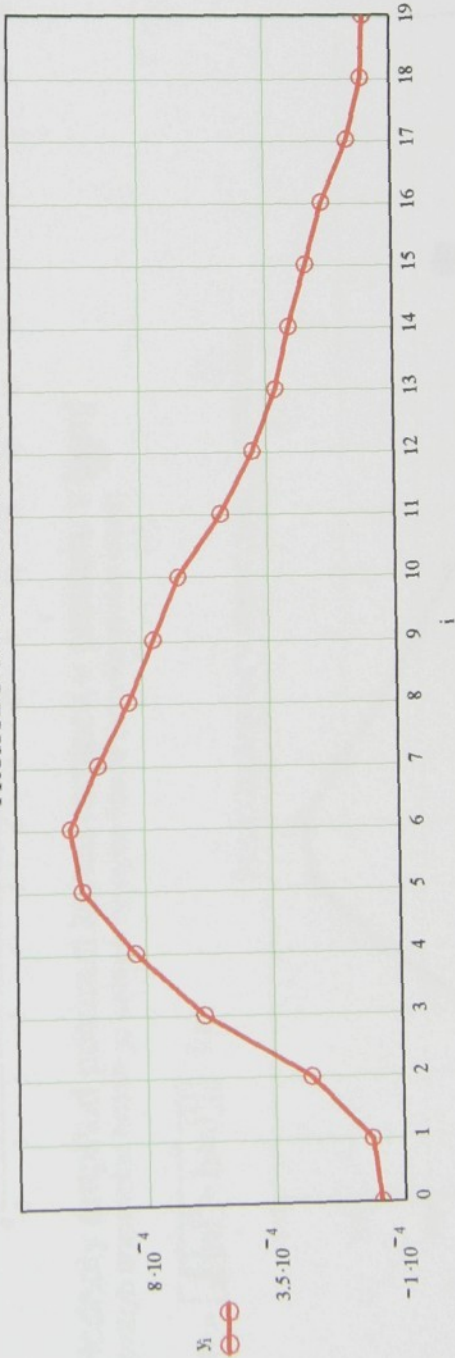
y0 := y0 y1 := y1 y2 := y2 y3 := y3 y4 := y4 y5 := y5 y6 := y6 y7 := y7 y8 := y8 y9 := y9
y10 := y10 y11 := y11 y12 := y12 y13 := y13 y14 := y14 y15 := y15 y16 := y16 y17 := y17

y18 := y18 y19 := y19

ya0 := y0a ya1 := y1a ya2 := y2a ya3 := y3a ya4 := y4a ya5 := y5a ya6 := y6a ya7 := y7a
ya8 := y8a ya9 := y9a ya10 := y10a ya11 := y11a ya12 := y12a ya13 := y13a ya14 := y14a
ya15 := y15a ya16 := y16a ya17 := y17a ya18 := y18a ya19 := y19a

Grafická korekce ykri := ya - ya8

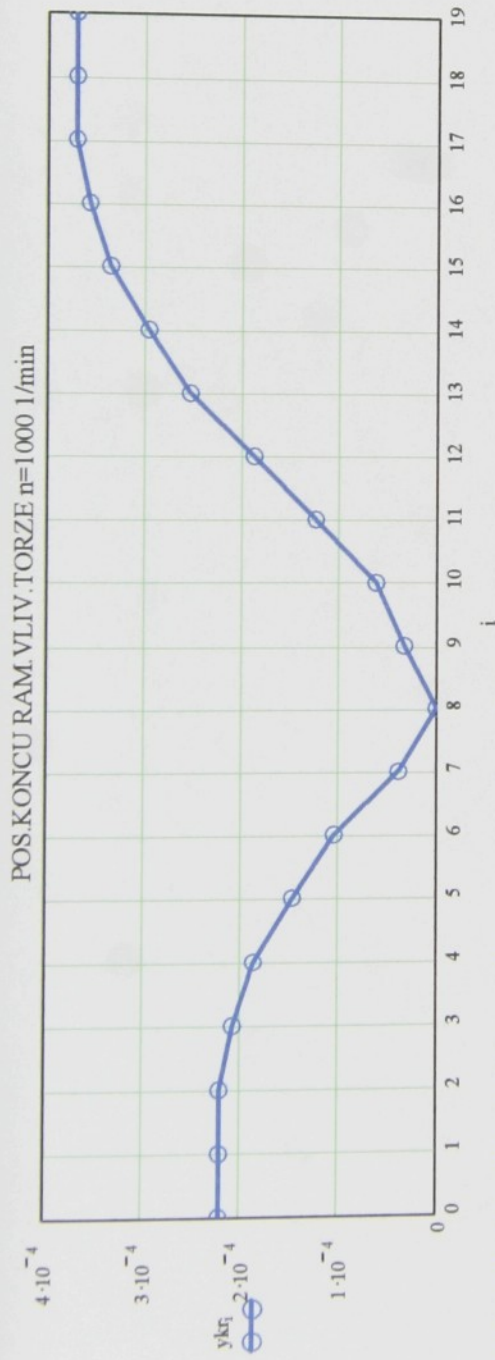
PRUHYB NOSNIKU n=1000 1/min



yi =	-1.853·10 ⁻⁵
	1.173·10 ⁻⁵
	2.22·10 ⁻⁴
	5.961·10 ⁻⁴
	8.359·10 ⁻⁴
	1.02·10 ⁻³
	1.06·10 ⁻³
	9.594·10 ⁻⁴
	8.486·10 ⁻⁴
	7.584·10 ⁻⁴
	6.677·10 ⁻⁴
	5.155·10 ⁻⁴
	4.009·10 ⁻⁴
	3.163·10 ⁻⁴
	2.676·10 ⁻⁴
	2.067·10 ⁻⁴

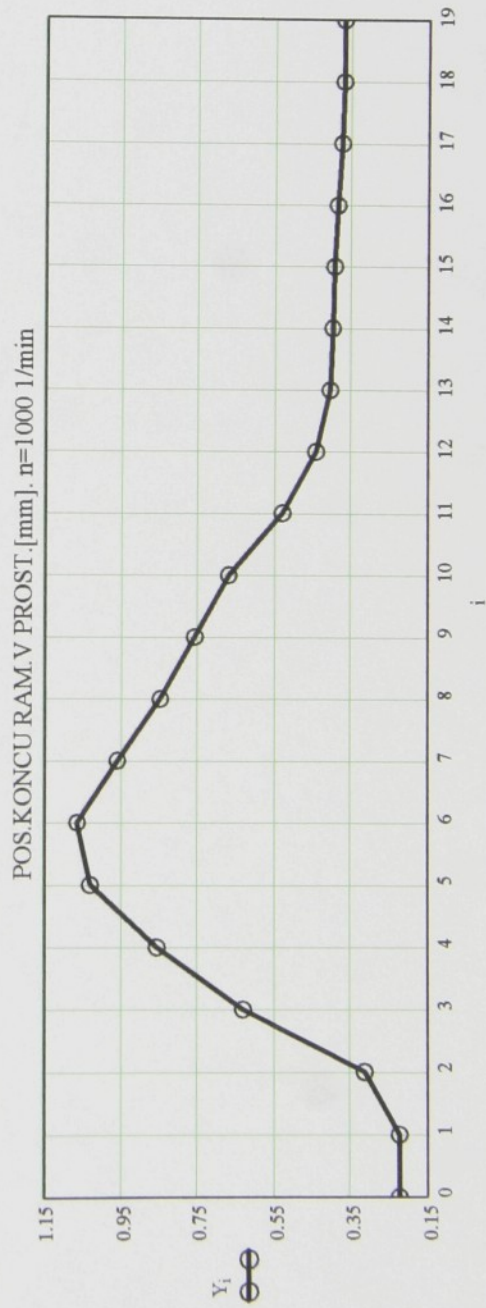
yki =	2.22·10 ⁻⁴
	2.22·10 ⁻⁴
	2.22·10 ⁻⁴
	2.088·10 ⁻⁴
	1.876·10 ⁻⁴
	1.48·10 ⁻⁴
	1.052·10 ⁻⁴
	3.899·10 ⁻⁵
	0
	3.332·10 ⁻⁵
	6.247·10 ⁻⁵
	1.253·10 ⁻⁴
	1.89·10 ⁻⁴
	2.547·10 ⁻⁴
	2.971·10 ⁻⁴
	3.366·10 ⁻⁴

PRÍLOHA c.7 (7/7)



Hodnoty amplitud posunutí koncu raminek v prostoru v [mm]
(pruhyb pracovního hřídele je kolmý k vychýlce konce ramínka vlivem torze)

$$Y_i := \left[\sqrt{(y_i)^2 + (y_{kr_i})^2} \right] \cdot 1000$$



U 613 S