



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

CITLIVOSTNÍ ANALÝZA A VYUŽITÍ MSC ADAMS

MATERIÁL K SEMINÁŘI

ÚSTÍ NAD LABEM 3. – 5. 2. 2015

PŘEDNÁŠEJÍCÍ: DOC. ING. ALŽBĚTA SAPIETOVÁ, PHD.

ING. BOHUŠ HYBEN

ÚVOD

Experimentovanie so skutočnou technickou sústavou je obyčajne časovo i finančne nákladné a pritom nemusí zaručovať optimálne riešenie. V posledných desaťročiach sa postupne vyvinuli mnohé komerčné softvéry pre riešenie dynamiky viazaných mechanických systémov reprezentujúcich najrôznejšie mechanizmy. Viaceré počítačové programy umožnili automatické generovanie a riešenie pohybových rovníc. Takto je umožnené konštruktérom vytvárať virtuálne prototypy (VP) navrhovaných mechanických zariadení. Optimalizácia týchto VP znamená určenie hodnôt navrhovaných parametrov zariadenia tak, aby správanie sa systému bolo optimálne podľa zvoleného kritéria, ktorým býva funkcia vhodne vybraných optimalizačných premenných.

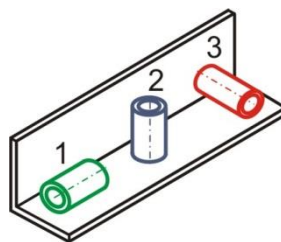
Konštrukčný návrh a optimalizácia vybraných parametrov gravitačného orientovača valcových puzdier

V prednáške je prezentovaný konštrukčný návrh mechanizmu gravitačného orientovača ložiskových puzdier a optimalizácia vybraných konštrukčných parametrov, ktorá má podstatný vplyv na kinematické a dynamické vlastnosti zabezpečujúce požadovaný chod zariadenia.

Orientácia valcových súčiastok s využitím gravitácie

Zásobovacie zariadenia a zásobovacie subsystemy majú významné postavenie v štruktúrach montážnych systémov. Jednou z funkcií, ktorú zabezpečujú je orientácia súčiastok v priestore a čase podľa požiadaviek montážnych operácií. Zatiaľ najviac používané zariadenia na orientovanie valcových súčiastok, namontované vo vibračných zásobníkoch, orientujú často iba časť z dopravovaných súčiastok. Ich ďalšou nevýhodou je pomerne veľká hlučnosť. Taktiež riešenie orientácie pomocou priemyselného robota nie je vždy efektívne hlavne z dôvodu nákladov. Tieto nevýhody viedli k tomu, aby bol navrhnutý taký dopravník a súčasne aj orientovač súčiastok, kde by boli nižšie náklady na výrobu i prevádzku, minimálna hlučnosť, stopercentná účinnosť orientovania a dopravovania súčiastok.

Na základe týchto požiadaviek bol namodelovaný a odsimulovaný VP gravitačného orientovača. Úlohou tohoto zariadenia je zorientovať ložiskové puzdra vchádzajúce do zariadenia v troch rôznych polohách 1, 2, 3 (obr.1.), do polohy 1 (tab.1).

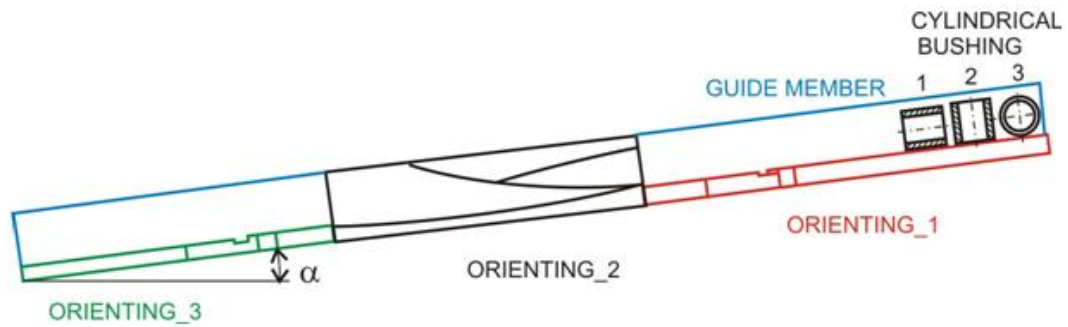


Obr. 1 Možné polohy ložiskových puzdier

Medzi dôležité parametre od ktorých závisí správne fungovanie dopravníka patrí uhol naklonenia vodiacej plochy α , dĺžka vodiacich plôch, konštrukčné parametre orientovacích prvkov a drsnosť vodiacich plôch. V tejto prednáške je prezentovaný optimálny výber uhlu α a následne začiatočná rýchlosť súčiastky v_1 na vstupe do orientovača 1 a to na základe uskutočnených simulácií a citlivostných analýz v prostredí programu MSC.ADAMS/View.

Doprovodené a orientované súčiastky prechádzajú vodiacimi dráhami, ktoré sa skladajú zo štyroch základných častí (obr.2). Sú to orientovač_1, orientovač_2 (vodiaca plocha má tvar skrutkovice), orientovač_3 a vedenie. Tieto súčiastky spolu s orientovaným a vedeným krúžkom boli namodelované v prostredí programu

Pro/Engineer. Orientovanou súčiastkou bolo ložiskové púzdro, ktoré má vonkajší priemer $\phi = 26$ mm a výšku $h = 26$ mm. Materiál je oceľ triedy 11373. Pomer $\phi/h = 1/1$.



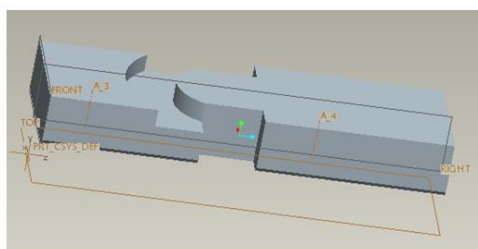
Obr.2 Ideový návrh gravitačného orientovača

Tabuľka 1 hovorí, že pokiaľ do orientovača vchádza valcová súčiastka v polohe 1, prejde celým gravitačným žľabom bez zmeny orientácie. Pokiaľ vchádza do gravitačného žľabu v polohe 2, v Orienting_1 nadobudne požadovanú polohu, ktorú už viac nemení. A nakoniec, pokiaľ vchádza do gravitačného žľabu v polohe 3, v Orienting_2 sa natočí do polohy 2 a v Orienting_3 dosiahne požadovanú polohu 1.

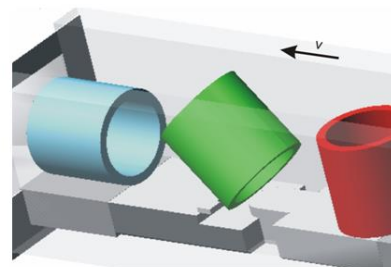
Tab. 1 Možné polohy súčiastky

Initial position	Orienting_1	Orienting_2	Orienting_3
1	1	1	1
2	1	1	1
3	3	2	1

Orientačným prvkom na člene orientovač_1 je žľab, ktorého tvar je zrejmý z obrázku 3 a). Na obrázku 3 b) je zobrazený spôsob orientovania súčiastky pomocou tohoto žľabu, t. j. z polohy 2 do polohy 1.



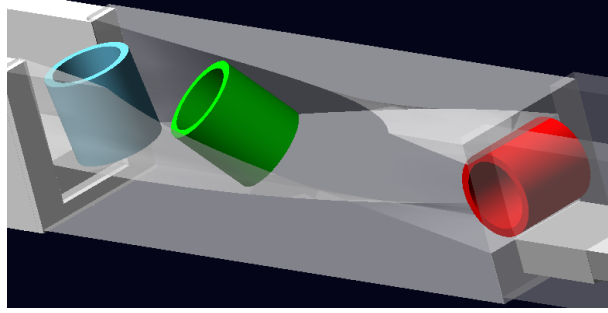
a.)



b.)

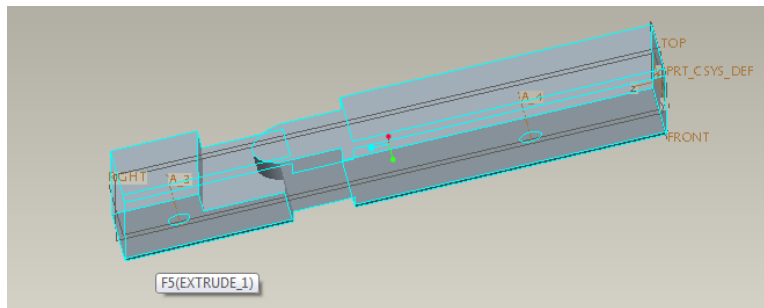
Obr. 3 a.) Orientovací žľab, b.) Telesá

Druhá časť žľabu orientovač_2 svojim skrutkovicovým tvarom umožňuje súčiastkam, ktoré sú v polohe 3 otočiť sa o 90° do polohy 2 a to počas prechodu touto časťou žľabu (obr.4). Smer pohybu púzdiar na obrázku č.4 je sprava doľava. Súčiastky z prvej a druhej polohy prejdú skrutkovicou bez zmeny polohy.



Obr.4 Orientovač_2 – orientovanie súčiastky

Na obrázku 5 je tretia časť žľabu orientovač_3, ktorá je tvarom totožná s prvou časťou, len druhý bok drážky je rovinná plocha. Tu stačí rovinná plocha, pretože touto časťou už neprechádza krúžok v polohe 3, kedy je vhodné aby bol s drážkou v minimálnom kontakte.

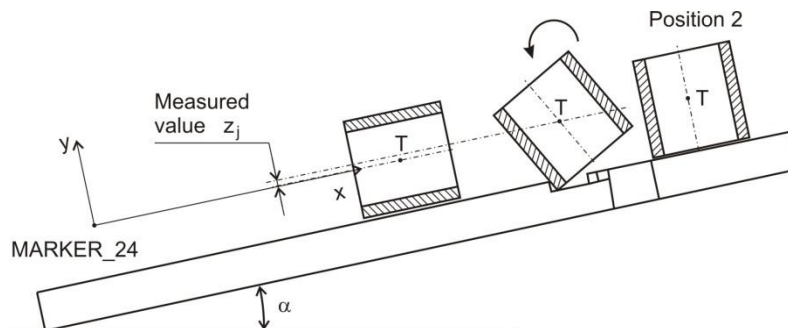


Obr. 5 Orienting_3

Citlivostná analýza uskutočnená metódou Design Study ak $\phi/h=1/1$

Aby sme zistili, pri akom uhle sklonu plnia jednotlivé časti dopravníka svoju funkciu, použili sme jeden z nástrojov parametrickej analýzy programu ADAMS a to Design Study (DS). Princípálne je DS nástroj na štúdium vplyvu zmeny jedného parametra na cieľovú funkciu a to v rámci stanoveného rozsahu jeho zmien.

V priebehu jednotlivých simulácií sa menil uhol naklonenia vodiacej plochy α . Ten bol optimalizačnou premennou DV_1 a cieľovou funkciou bola prvá nulová hodnota vzdialenosti ťažísk T, t.j. $z_j = F(\alpha) \rightarrow 0$ $j=1 \div n$, kde n je počet opakovaní (obr. 6). Takto bol získaný minimálny uhol naklonenia vodiacej plochy α_{\min} , pri ktorom sa súčiastka správne orientuje. Počiatočná rýchlosť súčiastky bola nulová.



Obr.6 Pretočenie krúžku na člene orientovac_1

Sledujeme vplyv zmeny optimalizačnej premennej DV_1 t.j. uhlu natočenia roviny α na cieľovú funkciu, vzdialenosťou markerov z_j . Z grafu na obrázku 7 vidíme, že pri prvom a druhom pokuse sa ťažisko nedostalo

do nulovej polohy, to znamená, že púzdro ostalo stáť v drážke (čiarkovaná čiara). Pri treťom, štvrtom a piatom pokuse sa púzdro správne pretočí a optimálna hodnota je $\alpha_{\min} = 11,5^\circ$ (plná čiara, tab.1.2, obr.1.11).

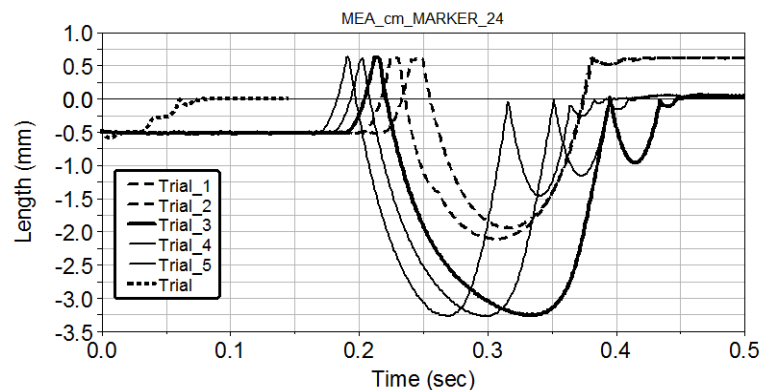
Stav, keď krúžok dosiahne takú rýchlosť, že prejde ponad orientovací prvok bez zmeny polohy je v obr 1.11 označený bodkovanou čiarou, alebo to je možné vidieť z priebehu rýchlostí súčiastky (obr.1.13, plná čiara) a taktiež vizuálne pri animácii. Na obrázku 1.12 je vygenerovaná závislosť cieľovej funkcie na uhle natočenia.

Table 2 Results of simulation for setting up the angle α

Design Study Summary			
Model Name: angle			
Date Run:08:50:45 22-Apr.2013			
Objectives			
O1) Minimum of Zj			
Units:mm			
Maximum Value: 0.572 (trial 1)			
Minimum Value:v(trial 1)			
Design Variables			
V1) <input type="checkbox"/>			
Units: degree			
Trial	Zj[mm]	α [°]	Sensitivity
1	-0.572	9.0	0.003
2	-0.568	10.2	0.248
3	0.048	11.5	0.250
4	0.056	12.7	-0.004
5	0.049	14.0	-0.016

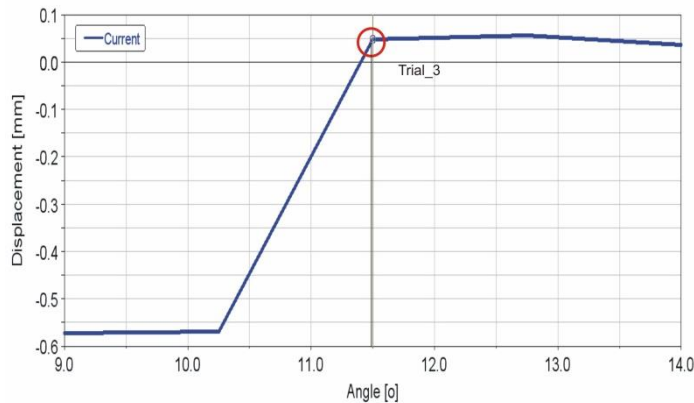
Približná citlivosť konštrukcie na návrhovú premennú V, je vypočítaná zo vzťahu:

$$S_i = \frac{1}{2} \left(\frac{O_{i+1} - O_i}{V_{i+1} - V_i} + \frac{O_i - O_{i-1}}{V_i - V_{i-1}} \right); \quad S_3 = \frac{1}{2} \left(\frac{0.056 - 0.048}{12.7 - 11.5} + \frac{0.048 + 0.568}{11.5 - 10.2} \right) = 0.250$$



Obr.7 Pretočenie súčiastky

ence of the objective function on time

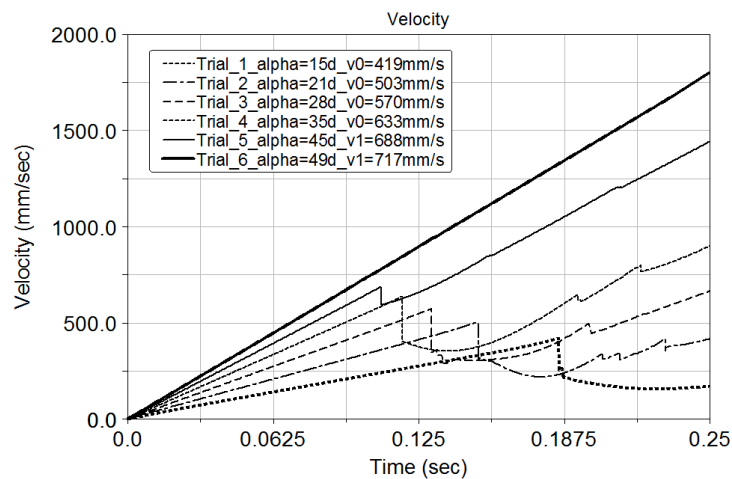


Obr.8 Závislosť cieľovej funkcie na uhle natočenia

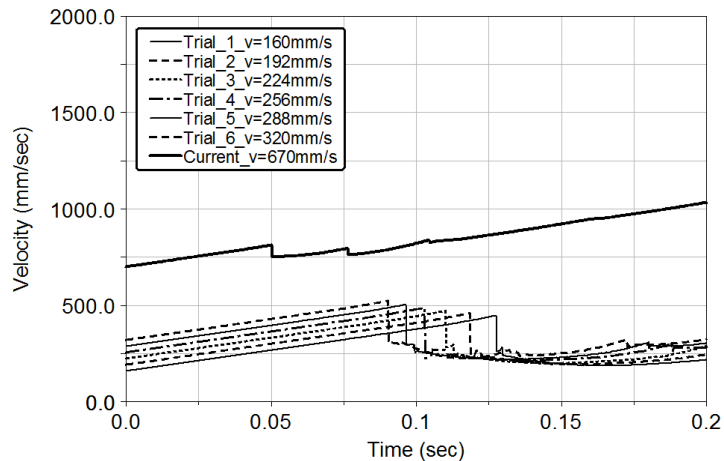
Na obr. 9 plné čiary znázorňujú priebeh rýchlosti, keď nedochádza k orientácii, t.j. ide o približne rovnomerne zrýchlený pohyb, rýchlosť rastie približne lineárne (plná hrubá krivka), resp. dôjde k veľmi malému poklesu rýchlosti (plná tenká krivka).

Je dôležité, s akou rýchlosťou v_1 vstupuje súčiastka do orientačného prvku. Napr. pre $v_1 \cong 700\text{mm/s}$ sa už daná súčiastka nepretáča obr. 8, plná hrubá krivka.

Ak máme nájdený optimálny uhol, hľadáme vhodnú rýchlosť na vstupe do orientovača. Pre vstupnú rýchlosť $v_1 \cong 650\text{mm/s}$ je situácia znázornená na obr. 1.14 plná hrubá čiara. Malé zmeny rýchlosti na tejto krivke vyjadrujú nepretočenie sa súčiastky, veľké zmeny rýchlostí – krivky pod plnou čiarou predstavujú korektnú orientáciu. Rýchlosť na vstupe do orientovacieho prvku sa dá riadiť napr. dĺžkou naklonenej roviny.



Obr. 9 Courses of velocity if $v=0$



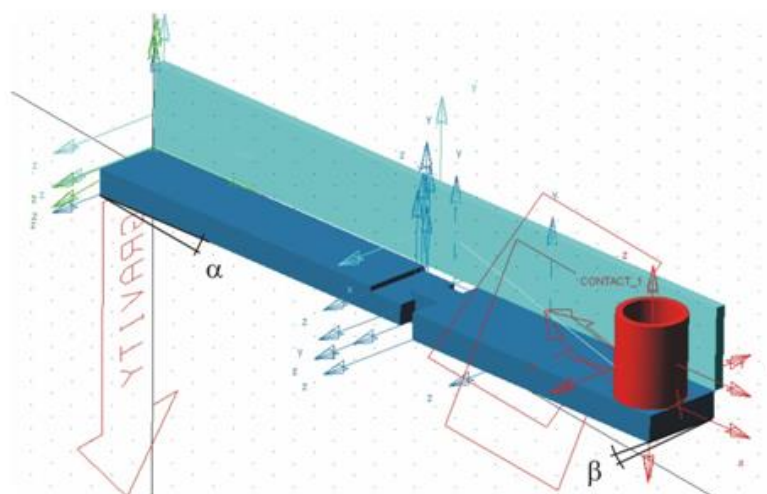
Obr. 10 Courses of velocity if $v = VD_2$

3.1.3 Citlivostná analýza uskutočnená v prostredí ADAMS/View metódou Design Study, ak $\phi < h$.

Doteraz sme riešili orientáciu puzdra kde pomer jeho priemeru k výške bol $\phi/h = 1/1$. Ďalšou otázkou je ako bude treba upraviť prvú časť orientovača tak, aby správne orientoval púzdra kde $\phi < h$. Orientované puzdro malo nasledujúce rozmery: $\phi = 26\text{mm}$ a $h = 32\text{mm}$. Materiál klzných plôch bol zvolený alkalický polyamid, ktorý je cenovo dostupnejší tvrdší ako teflón. Znižuje opotrebenie a zabráni nadmernému hluku. Ďalšou výhodou je jeho opracovateľnosť na bežných kovo-obrábacích strojoch. Faktor šmykového trenia zvoleného alkalického polyamidu je 0,15.

3.1.4 Design modifications

Pokiaľ uvažujeme tri polohy v ktorých puzdra vstupujú do orientovača (Obr.11), tak zariadenie si vyžaduje konštrukčné zmeny pre orientovanie z polohy 2. Vodiaca dráha je širšia ako priemer krúžku, preto treba puzdro správne naviesť na orientovací prvok. Uskutoční sa to tým spôsobom, že sa celý ORIENTOVAČ_1 natočí o uhol $\beta = \arctg 0.15 = 8.53^\circ$. Puzdro sa vplyvom uhlu β presunie k bočnému vedeniu je s ním neustále v kontakte a tým sa správne nastaví na orientovací prvok (Obr.1.15).



Obr.11 Design modifications

3.1.5 Simulácie pre definovanie minimálneho uhlu natočenia α . Simulation for defining the minimal angle of inclination α

Minimálny uhol naklonenej roviny orientovača_1 α_{\min} sa zistí opäť metódou Design Study. Podmienky a metódy sa zhodujú s opisom v kapitole 3.1.2. Bolo uskutočnených 5 pokusov. V tabuľke 1.3 bola prvý krát cieľová funkcia rovná nule a to pri treťom pokuse (Obr.1.3, plná hrubá čiara). Tomu zodpovedá i minimálny uhol naklonenia $\alpha_{\min} = 9^\circ$. Pri prvých dvoch pokusoch, čiarkovaná čiara, ostalo puzdro stáť v drážke. Pri štvrtom a piatom pokuse sa krúžok pretočil korektne. Na obrázku 1.14 sú grafy priebehov rýchlostí pri jednotlivých uhloch natočenia orientovača. Minimálna rýchlosť pred orientovacím prvkom by mala byť 330 mm/s. Na obrázku 1.15 sú znázornené časové priebehy kinetickej energie puzdra pri jednotlivých uhloch α .

Table 1.3 Results of simulation for setting up the angle α

Trial	z_j [mm]	α [°]
1	2.34	7.0
2	2.33	8.0
3	0.06	9.0
4	0.047	10.0
5	0.023	11.0

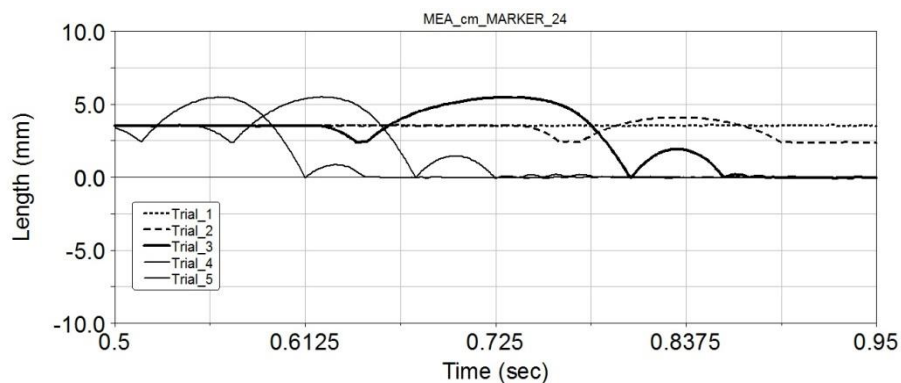


Fig.1.13 Dependence of the objective function on time

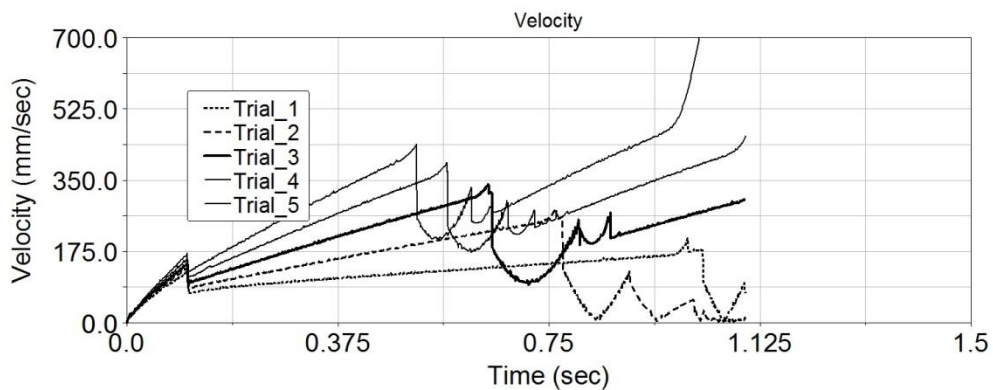


Fig.1.14 Time courses of velocity at particular angles of inclination

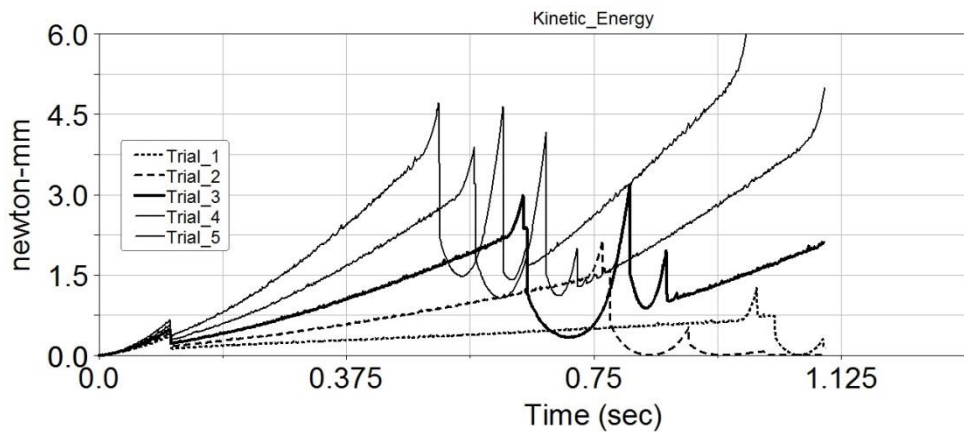


Fig. 1.15 Time courses of kinetic energy of bushing at particular angles of inclination

3.1.6 Summary

Táto podkapitola predkladá návrh základných konštrukčných parametrov, jedného člena gravitačného orientovača. Uvedené kritérium charakterizuje funkciu zariadenia. Geometrické parametre tohto prvku sú:

1. $\varphi/h=1/1$

2. $\varphi/h= 26/32$ čo si vyžiadalo v článku opísané konštrukčné úpravy prvej časti gravitačného dopravníka

Pre špecifikáciu optimálnych parametrov bola použitá metóda DS, ktorá sa používa v programe ADAMS/View. Toto riešenie je vhodné pre rozsah uhla $\alpha = 9^\circ \div 18^\circ$

3.2 A design and optimization of the fully automatic shunting mechanism

Commonly used mechanisms for conveying, shunting and shifting of cylindrical components do not ensure sufficient stability of components by their mutual arrangement. In addition, separate mechanism is used for their shifting, which increases overall dimensions of a machine.

In this paper, the virtual prototype of the mechanism which enables to orient, convey cylindrical parts, creates the set of parts and shift them on given position will be designed and optimized.

The environment of MSC.ADAMS program includes tools of parametric analysis which will be used for refining the properties of the model of VP. In this paper, optimization in ADAMS/ Insight environment is presented. Structural parameters which have an influence not only on failure-free operation of a machine but also on achieving its higher power and increasing the lifetime of conveyed components will be optimized.

3.2.1 Kinematic scheme of the VP of dosing mechanism

Fig.1.16 illustrates the kinematic scheme of dosing mechanism which conveys and doses cylindrical components after desired number of pieces. This mechanism has two degrees of freedom, i.e. displacement of the members 2 and 3 in z-direction (Fig. 1.16). The motion of mechanism is regulated by hydraulic drive.

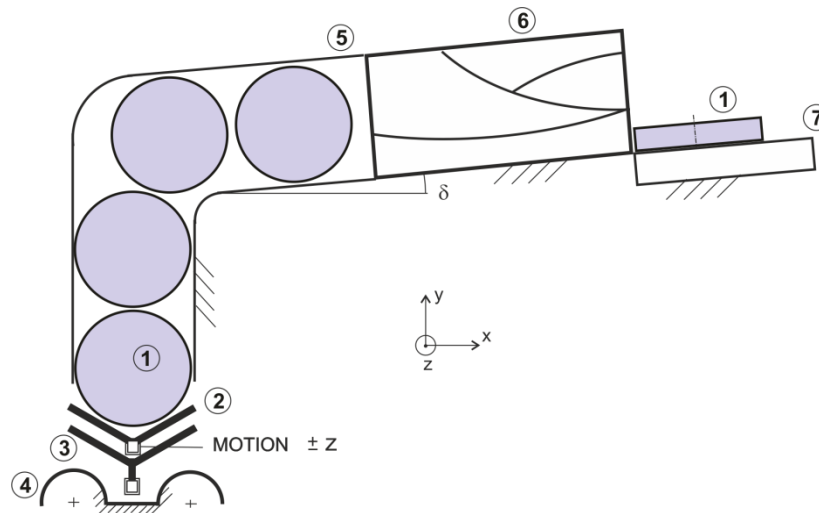


Fig. 1.16 Kinematic scheme of dosing mechanism.

The mechanism is composed of the following members:

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| 1 - cylindrical components | 5 - trench |
| 2 - blankholder | 6 - helix |
| 3 - carrier | 7 - vibrating conveyor |
| 4 - sliding surface | |

The mechanism work as follows (Fig. 1.17): Cylindrical components are conveyed from the vibrating conveyor 7 to the helix 6, where they are oriented into required position. Cylindrical components then cross into the vertical part of the trench and then they fall out on the member 2 (Fig. 1.16 and Fig. 1.17a). Members 2 and 3 perform translational reverse motion in z-direction (Fig. 1.17b). When members 2 and 3 push out from under components, these components fall out on the member 4 (Fig. 1.17b). By the simultaneous motions of the members 2 and 3 in +z-direction the bottom component is pushed out on the sliding surface 4 and the component above it will fall out on the member 2 (Fig. 1.17c). This procedure repeats unless there is required number of components on the sliding surface 4. When this condition is fulfilled, the member 3 will push out in +z-direction (further than member 2) and shift the set to the next technological operation.

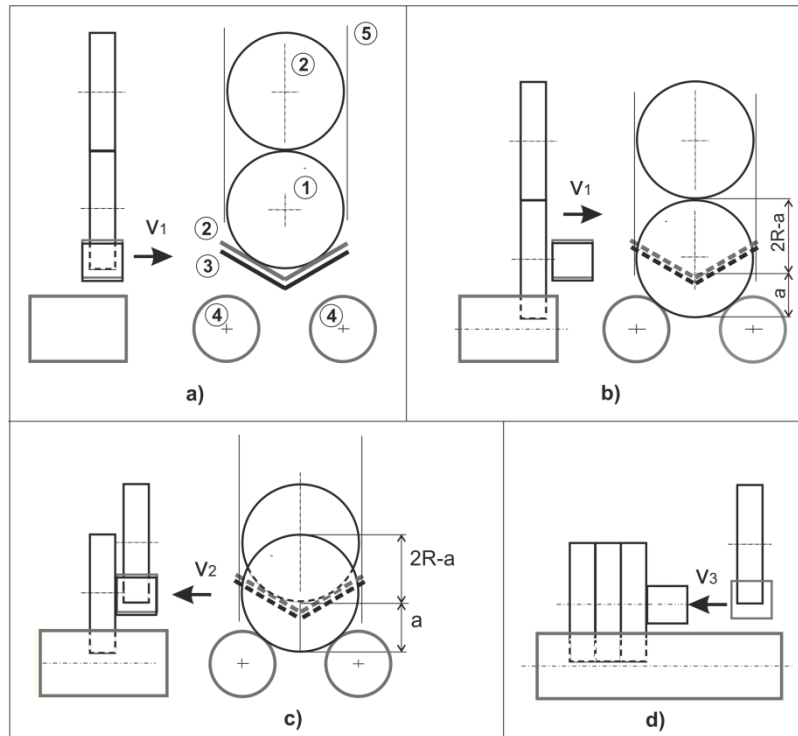


Fig. 1.17 Kinematic scheme of working cycle of the mechanism.

3.2.2 Optimization of structural parameters in ADAMS/Insight environment

By the impact of cylindrical component on the blankholder and sliding surface, there are impact forces which can damage the component. The VP is modelled in ADAMS/View environment (Fig. 1.18). The optimization is performed in ADAMS/Insight environment. The conveyed components are cylinders modelled in ANSYS environment.

Structural parameters which have an influence on magnitudes of the contact forces are optimized in the process of solution. These variables represent the angle of the blankholder $\alpha_n = DV_1$ and position $p_n = DV_2$ from which the height of impact of the component on the sliding surface is calculated (Fig. 1.19). The objective functions are contact force in the impact of the cylinder on the sliding surface 4 - $F_v - OBJECTIVE_1$ and contact force in the impact of the cylinder on the blankholder 2 - $F_p - OBJECTIVE_2$. Optimal values of the structural parameters correspond to minimal values of the mentioned contact forces.

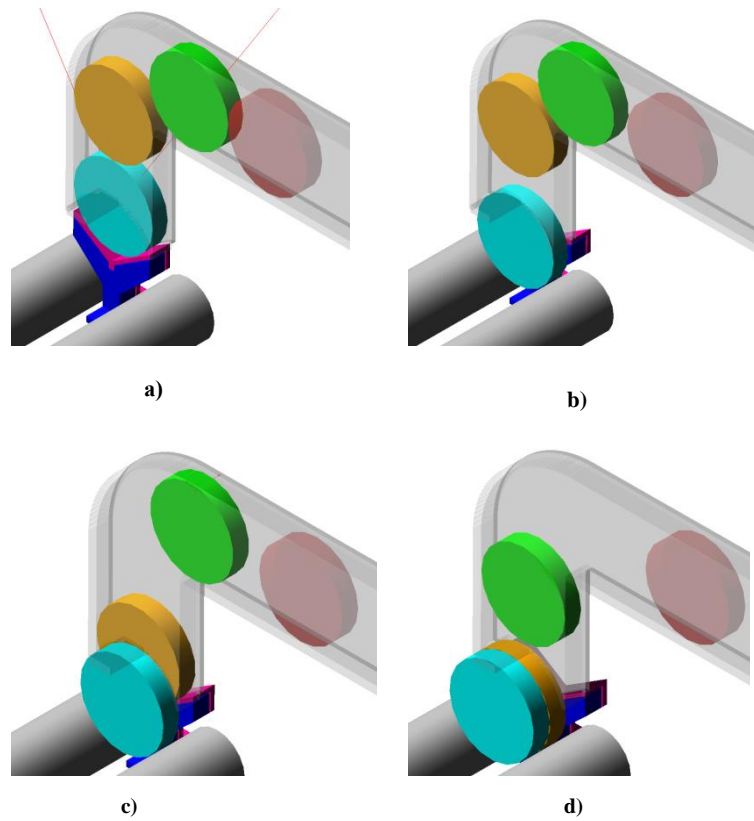


Fig. 1.18.VP in A/View environment a, b, c, d. Fig 1.18.a corresponds to the Fig. 1.17.a, ... and Fig.1.18.d corresponds to Fig.1.17.c.

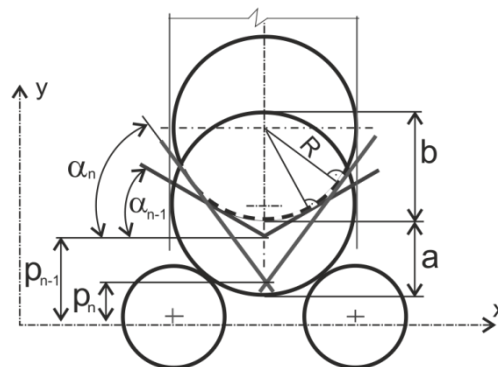


Fig.1.19 Structural parameters of the VP.

After performing analyses with solver settings, [1]: GSTIFF, SI2 and performing the post processing in A/Insight environment, the result block Design of Experiment Summary will be displayed (Tab. 1.2). We can assess the influence of combinations of the design variables on the objective functions and choose the most suitable combinations of the design variables.

Table 1.2 The result block Design of Experiment Summary

Trial	Objective_1	Objective_2	DV_1	DV_2
1	5573.7	3363.4	20.0	88.0
2	5940.6	3921.0	20.0	93.0

3	6580.0	7688.0	25.0	88.0
4	6168.1	7480.0	25.0	93.0
5	6564.1	4661.1	30.0	83.0
6	6151.5	3963.7	30.0	79.0
7	5666.0	8297.3	30.0	74.0
8	4200.6	4373.4	30.0	70.0
9	4906.1	4641.9	35.0	83.0
10	4584.1	6358.7	35.0	79.0

As we can see, the objective function OBJECTIVE_1 reaches minimal values for trial 8: OBJECTIVE_1 = 4200.6 N, $DV_1=30^\circ$ and $DV_2=70$ mm. The second objective function reaches the minimum in trial 1 in angle of $DV_1=20^\circ$ and position of $DV_2=88$ mm.

As we can see, the minimum of both objective functions will not be achieved by the same values of the variables. So we get into the field of multi-criterion optimization where the optimal result is assessed as an acceptable compromise between both objective function.

The results from particular trials are loaded in A/Insight environment. These results are prepared for regression analysis (fitting quadratic surface through the results of experiments in terms of least squares) (Fig. 1.20 and Fig. 1.21).

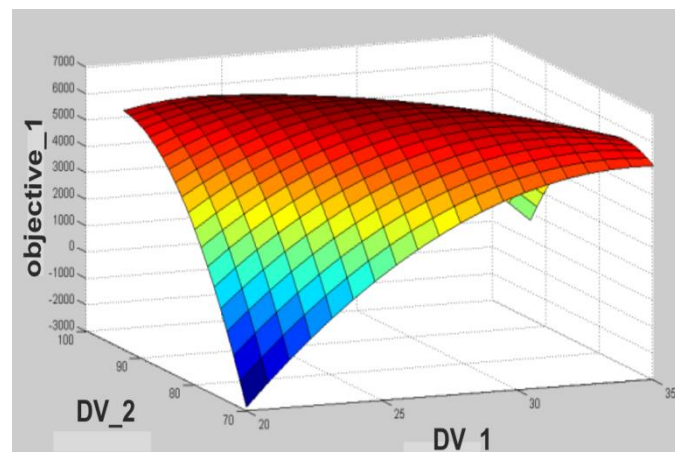


Fig.1.20 Response of the objective functions OBJECTIVE_1.

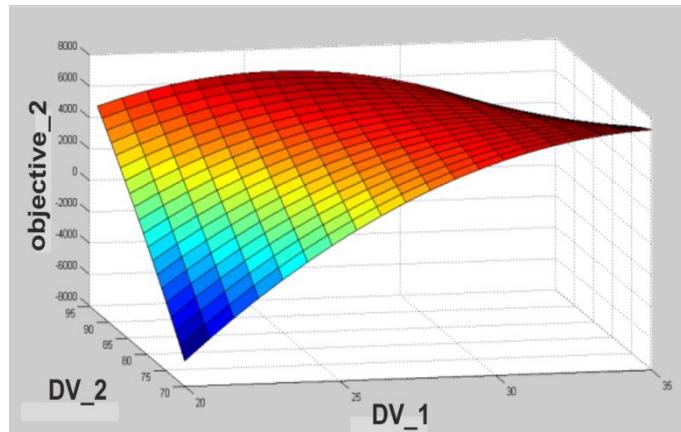


Fig.1.21 Response of the objective functions and OBJECTIVE_2.

3.2.3 Conclusions

The goal of the optimization analysis was to find the angle of blankholder and its position so that the loading onto the sliding surface and carrier was minimal and was equally large if possible. Tab. 1.2 and Fig. 1.20 and Fig. 1.21 were combined into Fig. 1.22 for that reason. Y-axis represents the value of impact force and x-axis represents the number of combination of parameters. Parameters responding to combination 8 marked by circle are considered as the optimal values. Corresponding structural parameters for this combination were mentioned as a recommendation for future structural design.

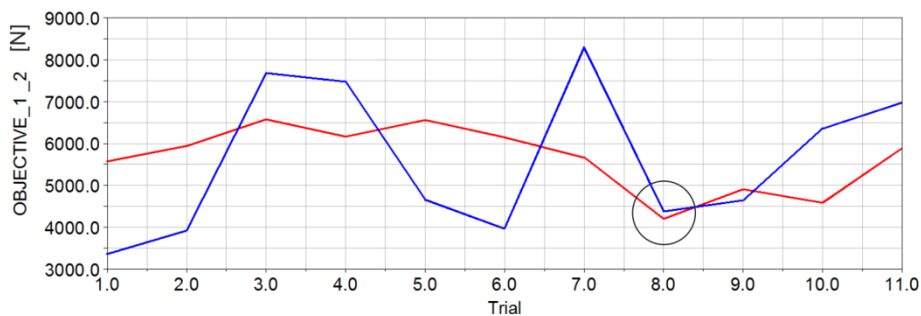


Fig.1.22 Response of the objective functions OBJECTIVE_1 a OBJECTIVE_2.

It should be noted that solution with more refined distribution of structural variables would refine the given results. The solution revealed stress concentrations on the blankholder at the impact of the component. So the next solution will be an optimization of the shape of blankholder or using of damping materials on its surface. It is also notable to consider uncertainties of geometrical and material parameters of the device. Then the next step will be the formulation of this problem as a task with uncertainty parameters [2, 3].