

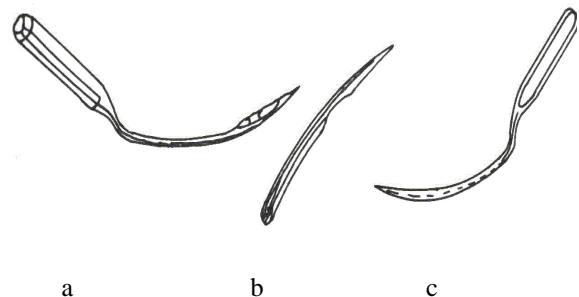
## KINEMATIC PARAMETERS OF NEEDLE MECHANISM OF INVISIBLE STITCHING SEWING MACHINE

O. Barborák

**Summary :** *Needle mechanism is directly participating on creation of stitch. Needle stick, together with needle, creates rectilinear movement in the most of sewing machines. However, in case of sewing machines with invisible stitching, it is movement of six-part joint mechanism, where the main part-needle, makes movement around the bow track. Kinematic parameters of movement of needle-position, speed and acceleration, have direct connection with output of sewing machine and quality of created stitch.*

### 1. Úvod

Ihlový mechanizmus šijacieho stroja je veľmi dôležitý pre kvalitné vytváranie stehu. Pohyb tohto mechanizmu je previazaný s ostatnými funkčnými mechanizmami a ústrojenstvami šijacieho stroja. Keďže pre každý druh šitia je potrebný iný steh, treba aby aj mechanizmus konal ďalšie pomocné pohyby, ktoré sú viazané s pohybom hlavného mechanizmu šijacieho stroja. Hlavným pohybom ihly je buď priamočiary alebo kruhový vratný pohyb. Zapošívací šijací stroj sa od bežne používaných líši tým, že zahnutá alebo oblúková ihla (obr. 1) a teda i ihlová tyč vykonáva kývavý vratný pohyb po časti kružnice a vytvára jednoníťový retiazkový alebo dvojníťový viazaný steh. Uvedené ihly sa používajú na strojoch tužiacich (obr.1a), obnitkovacích (obr.1b) a zapošívacích (obr.1c). Ako už z názvu vyplýva, ihly sú zahnuté do tvaru kruhového oblúka s rôznym zakrivením. Tieto ihly majú rovnako ako rovné ihly driek na osadenie ihly, návlekovú stranu s dlhšou drážkou na vonkajšej strane ihly a krátku drážku s vybraním na stane, kde pracuje ústrojenstvo na zachytenie slučky. Niť, ktorá je vedená takouto ihlou, vytvára tetivu kruhového oblúka, čo zaručuje spoľahlivé vytvorenie slučky i bez veľkého zdvihu. Takýto mechanizmus sa používa pre tvorbu stehu, ktorý je neviditeľný z lícnej strany, pri zapošívaní napríklad dolnej časti dámskych nohavíc.



Obr.1 Oblúkové a zahnuté ihly

Ihlový mechanizmus zapošívacieho šijacieho stroja tvorí 6- členný kĺbový mechanizmus (obr.2), ktorý je poháňaný hlavným hriadeľom. Výpočet kinematických veličín bodu na šijacej ihle je možné riešiť graficky alebo niektorou z analytických metód.

Pri grafickom riešení sa vychádza z nákresu mechanizmu v určitej mierke a ďalej zo zadaných vstupných rozmerových a kinematických parametrov. Mechanizmus je dvojvahadlový a pre výpočet musia platiť medzi dĺžkovými parametrami nasledovné závislosti:

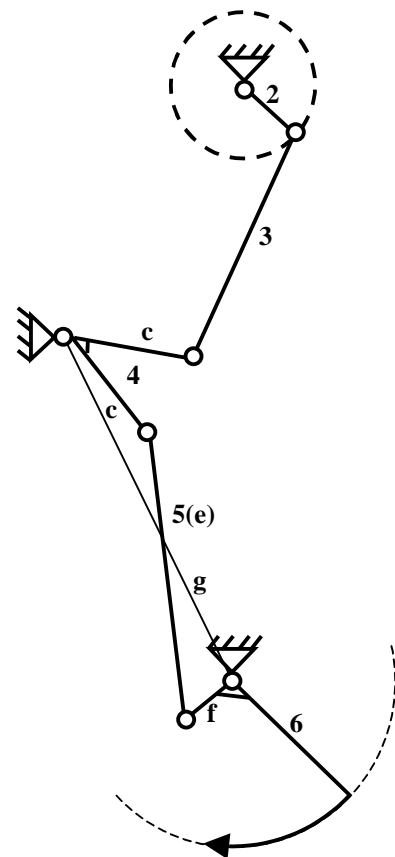
$$(e + f)(g + c) = (e - f)(g - c) \quad (1)$$

$$(e + c)(g + f) = (e - c)(g - f) \quad (2)$$

kde označenia  $c, e, f, g$  sú dĺžky členov mechanizmu.

Uhlovú rýchlosť a uhlové zrýchlenie sa získajú grafickým riešením základným rozkladom postupne od parametrov kľuky 2 hlavného hriadeľa až po ľubovoľný bod na člene 6 (napr. hrot ihly).

Pre kinematické riešenie tohto mechanizmu bola zvolená vektorová metóda a samotné riešenie kinematických veličín (dráhy, rýchlosti a zrýchlenia bodu na ihlovej tyči – t.j. i bodu na šijacej ihle) v programe MATLAB.



Obr.2 Schematické zobrazenie 6- členného ihlového mechanizmu zapošívacieho šijacieho stroja

## 2. Analytické riešenie zadaného mechanizmu

Prvým krokom riešenia je určenie počtu stupňov voľnosti mechanizmu pre 6- členný kĺbový mechanizmus:

$$n = 3(i - 1) - 2(r + p + v) - o = 3(6 - 1) - 2(7 + 0 + 0) - 0 = 1^\circ \text{ voľnosti} \quad (3)$$

### Zostavenie základných vektorových rovníc

Nakoľko sa jedná o 6-členný kĺbový mechanizmus, pre riešenie vektorovou metódou je potrebné zostaviť 18 transcendentných simultánných rovníc pomocou dvoch slučiek mechanizmu a jednou slučkou bodu záujmu (bod na ihle). Pri riešení sú jednotlivým členom mechanizmu priradené orientované vektory (obr.3), pomocou ktorých sú zostavené rovnice pre výpočet.

### Stanovenie konštánt a premenných

- nezávisle premenná :  $\varphi_2$

- závisle premenné :  $\varphi_3, \varphi_{41}, \varphi_{42}, \varphi_5, \varphi_6, \varphi_{61}$

- konštanty :  $l_2, l_3, l_{41}, l_{42}, l_5, l_6, l_{61}, l_7, l_8, \varphi_{40}, \varphi_{60}, \varphi_7, \varphi_8$

**Vektorové rovnice**Slučka 1:

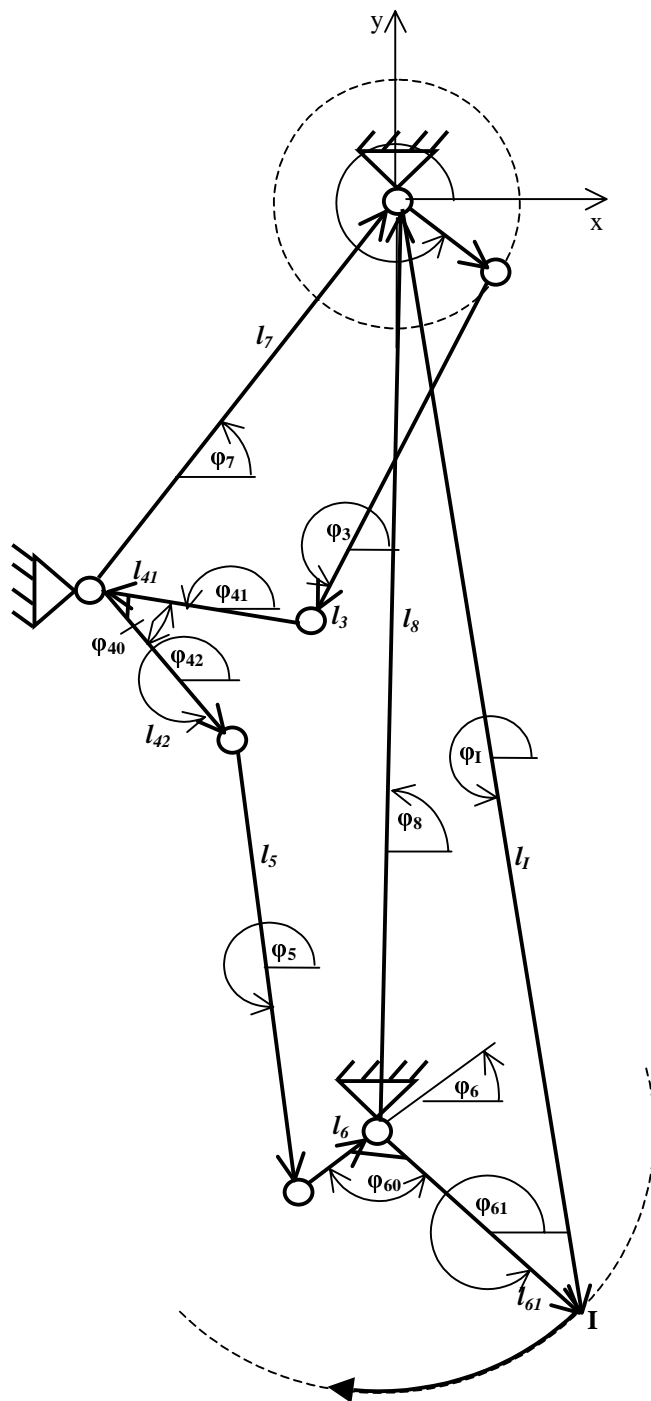
$$l_2 + l_3 + l_{41} + l_7 = 0 \quad (4)$$

Slučka 2:

$$l_2 + l_3 + l_{41} + l_{42} + l_5 + l_6 + l_8 = 0 \quad (5)$$

Slučka bodu záujmu:

$$l_2 + l_3 + l_{41} + l_{42} + l_5 + l_6 + l_{61} = l_I \quad (6)$$



Obr.3 Vektorové slučky mechanismu

**Rovnice polohy**Slučka 1:

$$x \dots l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3 + l_{41} \cos \varphi_{41} + l_7 \cos \varphi_7 = 0 \quad (7)$$

$$y \dots l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3 + l_{41} \sin \varphi_{41} + l_7 \sin \varphi_7 = 0 \quad (8)$$

Slučka 2:

$$x \dots l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3 + l_{41} \cos \varphi_{41} + l_{42} \cos \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) + l_5 \cos \varphi_5 + l_6 \cos \varphi_6 + l_8 \cos \varphi_8 = 0 \quad (9)$$

$$y \dots l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3 + l_{41} \sin \varphi_{41} + l_{42} \sin \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) + l_5 \sin \varphi_5 + l_6 \sin \varphi_6 + l_8 \sin \varphi_8 = 0 \quad (10)$$

Slučka bodu záujmu – složky polohy

$$x_I = l_2 \cos \varphi_2 + l_3 \cos \varphi_3 + l_{41} \cos \varphi_{41} + l_{42} \cos \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) + l_5 \cos \varphi_5 + l_6 \cos \varphi_6 + l_{61} \cos \left( \varphi_6 + \frac{5}{4} \pi \right) \quad (11)$$

$$y_I = l_2 \sin \varphi_2 + l_3 \sin \varphi_3 + l_{41} \sin \varphi_{41} + l_{42} \sin \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) + l_5 \sin \varphi_5 + l_6 \sin \varphi_6 + l_{61} \sin \left( \varphi_6 + \frac{5}{4} \pi \right) \quad (12)$$

**Rovnice rychlosti**

(Derivováním simultánných transcendentných rovnic polohy)

$$\dot{x} \dots - \dot{\varphi}_2 l_2 \sin \varphi_2 - \dot{\varphi}_3 l_3 \sin \varphi_3 - \dot{\varphi}_{41} l_{41} \sin \varphi_{41} = 0 \quad (13)$$

$$\dot{y} \dots \dot{\varphi}_2 l_2 \cos \varphi_2 + \dot{\varphi}_3 l_3 \cos \varphi_3 + \dot{\varphi}_{41} l_{41} \cos \varphi_{41} = 0 \quad (14)$$

Slučka 2:

$$\dot{x} \dots - \dot{\varphi}_2 l_2 \sin \varphi_2 - \dot{\varphi}_3 l_3 \sin \varphi_3 - \dot{\varphi}_{41} l_{41} \sin \varphi_{41} - \dot{\varphi}_{41} l_{42} \sin \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) - \dot{\varphi}_5 l_5 \sin \varphi_5 - \dot{\varphi}_6 l_6 \sin \varphi_6 = 0 \quad (15)$$

$$\dot{y} \dots \dot{\varphi}_2 l_2 \cos \varphi_2 + \dot{\varphi}_3 l_3 \cos \varphi_3 + \dot{\varphi}_{41} l_{41} \cos \varphi_{41} + \dot{\varphi}_{41} l_{42} \cos \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) + \dot{\varphi}_5 l_5 \cos \varphi_5 + \dot{\varphi}_6 l_6 \cos \varphi_6 = 0 \quad (16)$$

Slučka bodu záujmu – složky rychlosti

$$\dot{x}_I = -\dot{\varphi}_2 l_2 \sin \varphi_2 - \dot{\varphi}_3 l_3 \sin \varphi_3 - \dot{\varphi}_{41} l_{41} \sin \varphi_{41} + \dot{\varphi}_{41} l_{42} \left( \sin \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) - \dot{\varphi}_5 l_5 \sin \varphi_5 - \dot{\varphi}_6 l_6 \sin \varphi_6 - \dot{\varphi}_6 l_{61} \sin \left( \varphi_6 + \frac{5}{4} \pi \right) \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \dot{y}_I = & \dot{\varphi}_2 l_2 \cos \varphi_2 + \dot{\varphi}_3 l_3 \cos \varphi_3 + \dot{\varphi}_{41} l_{41} \cos \varphi_{41} + \dot{\varphi}_{41} l_{42} \left( \sin \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) + \dot{\varphi}_5 l_5 \cos \varphi_5 + \\ & + \dot{\varphi}_6 l_6 \cos \varphi_6 + \dot{\varphi}_6 l_{61} \cos \left( \varphi_6 + \frac{5}{4} \pi \right) \end{aligned} \quad (18)$$

**Rovnice zrýchlení**

(Druhou deriváciou simultánnych transcendentných rovníc polohy)

Slučka 1:

$$\ddot{x} \dots - \ddot{\varphi}_2 l_2 \sin \varphi_2 - \dot{\varphi}_2^2 l_2 \cos \varphi_2 - \ddot{\varphi}_3 l_3 \sin \varphi_3 - \dot{\varphi}_3^2 l_3 \cos \varphi_3 - \ddot{\varphi}_{41} l_{41} \sin \varphi_{41} - \dot{\varphi}_{41}^2 l_{41} \cos \varphi_{41} = 0 \quad (19)$$

$$\ddot{y} \dots \varphi_2 l_2 \cos \varphi_2 - \dot{\varphi}_2^2 l_2 \sin \varphi_2 + \ddot{\varphi}_3 l_3 \cos \varphi_3 - \dot{\varphi}_3^2 l_3 \sin \varphi_3 + \ddot{\varphi}_{41} l_{41} \cos \varphi_{41} - \dot{\varphi}_{41}^2 l_{41} \sin \varphi_{41} = 0 \quad (20)$$

Slučka 2:

$$\begin{aligned} \ddot{x} \dots - \ddot{\varphi}_2 l_2 \sin \varphi_2 - \dot{\varphi}_2^2 l_2 \cos \varphi_2 - \ddot{\varphi}_3 l_3 \sin \varphi_3 - \dot{\varphi}_3^2 l_3 \cos \varphi_3 - \ddot{\varphi}_{41} l_{41} \sin \varphi_{41} - \dot{\varphi}_{41}^2 l_{41} \cos \varphi_{41} - \\ - \dot{\varphi}_{41}^2 l_{42} \cos \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) - \ddot{\varphi}_{41} l_{42} \sin \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) - \ddot{\varphi}_5 l_5 \sin \varphi_5 - \dot{\varphi}_5^2 l_5 \cos \varphi_5 - \\ - \ddot{\varphi}_6 l_6 \sin \varphi_6 - \dot{\varphi}_6^2 l_6 \cos \varphi_6 = 0 \end{aligned} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} \ddot{y} \dots \ddot{\varphi}_2 l_2 \cos \varphi_2 - \dot{\varphi}_2^2 l_2 \sin \varphi_2 + \ddot{\varphi}_3 l_3 \cos \varphi_3 - \dot{\varphi}_3^2 l_3 \sin \varphi_3 + \ddot{\varphi}_{41} l_{41} \cos \varphi_{41} - \dot{\varphi}_{41}^2 l_{41} \sin \varphi_{41} - \\ - \dot{\varphi}_{41}^2 l_{42} \sin \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) + \ddot{\varphi}_{41} l_{42} \cos \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) + \ddot{\varphi}_5 l_5 \cos \varphi_5 - \dot{\varphi}_5^2 l_5 \sin \varphi_5 + \\ + \ddot{\varphi}_6 l_6 \cos \varphi_6 - \dot{\varphi}_6^2 l_6 \sin \varphi_6 = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

Slučka bodu záujmu – zložky zrýchlenia

$$\begin{aligned} \ddot{x}_I = & -\ddot{\varphi}_2 l_2 \sin \varphi_2 - \dot{\varphi}_2^2 l_2 \cos \varphi_2 - \ddot{\varphi}_3 l_3 \sin \varphi_3 - \dot{\varphi}_3^2 l_3 \cos \varphi_3 - \ddot{\varphi}_{41} l_{41} \sin \varphi_{41} - \dot{\varphi}_{41}^2 l_{41} \cos \varphi_{41} - \\ & - \ddot{\varphi}_{41} l_{42} \sin \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) - \dot{\varphi}_{41}^2 l_{42} \cos \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) - \ddot{\varphi}_5 l_5 \sin \varphi_5 - \dot{\varphi}_5^2 l_5 \cos \varphi_5 - \\ & - \ddot{\varphi}_6 l_6 \sin \varphi_6 - \dot{\varphi}_6^2 l_6 \cos \varphi_6 - \ddot{\varphi}_6 l_{61} \sin \left( \varphi_6 + \frac{5}{4} \pi \right) - \dot{\varphi}_6^2 l_{61} \cos \left( \varphi_6 + \frac{5}{4} \pi \right) \end{aligned} \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \ddot{y}_I = & \ddot{\varphi}_2 l_2 \cos \varphi_2 - \dot{\varphi}_2^2 l_2 \sin \varphi_2 + \ddot{\varphi}_3 l_3 \cos \varphi_3 - \dot{\varphi}_3^2 l_3 \sin \varphi_3 + \ddot{\varphi}_{41} l_{41} \cos \varphi_{41} - \\ & - \dot{\varphi}_{41}^2 l_{41} \sin \varphi_{41} + \ddot{\varphi}_{41} l_{42} \sin \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) + \dot{\varphi}_{41}^2 l_{42} \cos \left( \varphi_{41} + \frac{3}{4} \pi \right) + \\ & + \ddot{\varphi}_5 l_5 \cos \varphi_5 - \dot{\varphi}_5^2 l_5 \sin \varphi_5 + \ddot{\varphi}_6 l_6 \cos \varphi_6 - \dot{\varphi}_6^2 l_6 \sin \varphi_6 + \ddot{\varphi}_6 l_{61} \cos \left( \varphi_6 + \frac{5}{4} \pi \right) - \\ & - \dot{\varphi}_6^2 l_{61} \sin \left( \varphi_6 + \frac{5}{4} \pi \right) \end{aligned} \quad (24)$$

### 3. Riešenie úlohy programom MATLAB

Pomocou programu MATLAB verzie 5.3 bolo vytvorených niekoľko programov (nie sú v tomto príspevku uvádzané). Pre výpočet boli stanovené vstupné otáčky kľuky 2 (hlavný hriadeľ)  $2500 \text{ min}^{-1}$ , (uhlovú rýchlosť  $\omega=261,66 \text{ rad.s}^{-1}$ ) a uhlovú rýchlosť  $\alpha=0 \text{ rad.s}^{-2}$ . Pomocou softvéru je možné simulovať pohyb celého mechanizmu.

### 4. Dosiahnuté výsledky a závery

Program vypočítal jednotlivé hodnoty polôh, rýchlostí a zrýchlení bodu záujmu I v závislosti na pootočení kľuky vždy o  $5^\circ$ . V Tabuľke 1 sú uvedené výsledné hodnoty polohy, rýchlostí a zrýchlenia, vypočítané zo zložiek Pythagorovou vetou (po  $10^\circ$  a  $50^\circ$ ) a grafické znázornenie kinematických veličín je na obrázkoch 4, 5 a 6.

Tabuľka 1 Vypočítané hodnoty pohybu bodu záujmu

Natočenie hnacieho člena ( $^\circ$ )	Natočenie hnacieho člena (rad)	Poloha bodu záujmu (mm)	Rýchlosť bodu záujmu ( $\text{m.s}^{-1}$ )	Zrýchlenie bodu záujmu ( $\text{m.s}^{-2}$ )
331	5,74512	4,4607	0,5015	314,9954
336	5,83191	4,4563	0,5872	343,5745
346	6,00548	4,4008	0,7507	370,8081
356	6,17904	4,352	0,8827	366,2368
6	0,10414	4,3071	1,0716	349,6632
56	0,97198	4,0573	0,9659	-110,3756
106	1,83983	3,9406	0,0418	-333,8179
156	2,70767	4,0602	-1,0515	-111,0244
206	3,57551	4,392	-0,9462	519,8502
256	4,44336	4,5709	-0,1295	166,9578
306	5,3112	4,5362	0,1916	165,0566
311	5,39799	4,5267	0,2482	198,7657
316	5,48477	4,5139	0,3032	229,6654
321	5,57155	4,5004	0,3695	262,5669
326	5,65834	4,4843	0,4294	289,1915
331	5,74512	4,4607	0,5015	314,9954

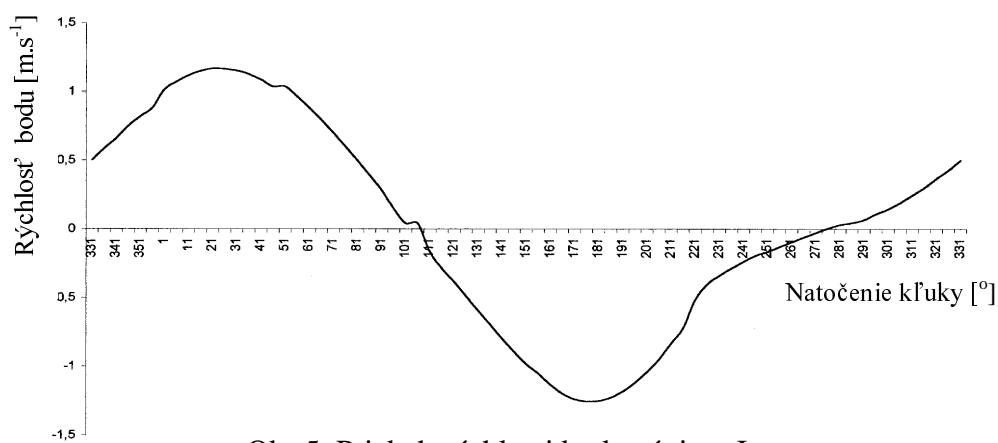
Grafické znázornenie priebehov polohy, rýchlosti a zrýchlenia bodu I je na obrázku č. 4, 5 6. Z grafických priebehov je zrejmé, že krivky nie sú plynulé, čo môže mať za následok pri zohľadnení dynamických aspektov mechanizmu negatívny dopad na plynulý chod celého ihlového mechanizmu. Preto ďalšie riešenie bolo zamerané na optimalizáciu jednotlivých dĺžkových parametrov za účelom dosiahnutia plynulejších priebehov kinematických veličín.

### 5. Literatúra

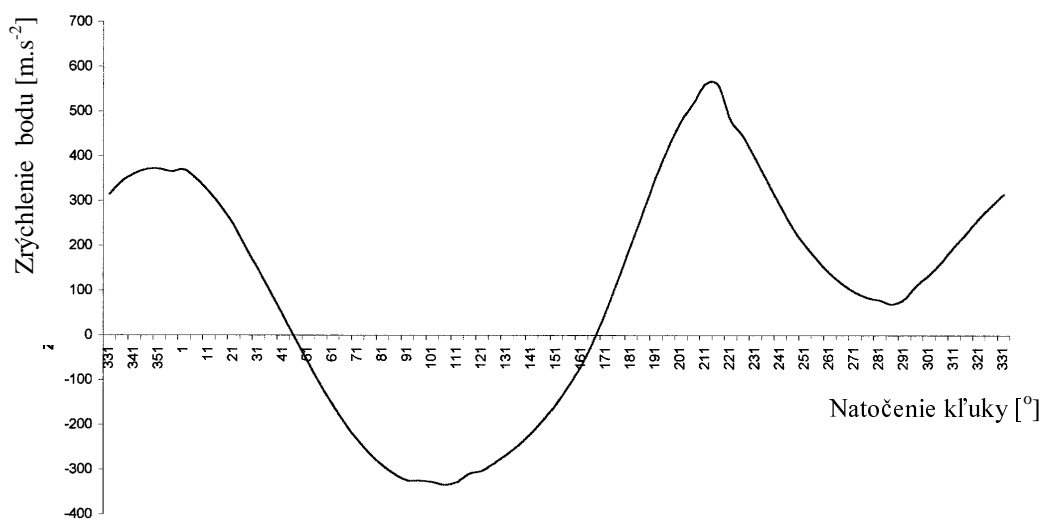
- Barborák, O.: Kinematika - úvod do riešenia mechanizmov, skriptá Trenčianskej univerzity, Trenčín, 2000
- Brát V.: Příručka kinematiky a příklady, SNTL, Praha, 1973.
- Motejl V.: Šicí stroje v oděvní výrobě, SNTL, Praha, 1973
- Motejl V.: Stroje a zařízení v oděvní výrobě, SNTL, Praha, 1984



Obr.4 Priebek polohy bodu záujmu I



Obr.5 Priebek rýchlosti bodu záujmu I



Obr.6 Priebek zrýchlenia bodu záujmu I