

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta textilní

Pavína Šťastná

Grafická interpretace výsledků kinematické analýzy
mechanismů

DIPLOMOVÁ PRÁCE

datum : 28.5.1993

1993

Rozsah práce a příloh

Počet stran : 38

Počet obrázků : 9

Počet tabulek : 1

Počet příloh : 4

datum : 28.5.1993

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta textilní

Katedra technické kybernetiky Školní rok: 1992/93

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Pavlínu ŠTASTNOU

obor 31-20-8 ASŘ ve spotřebním průmyslu

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu:

Grafická interpretace výsledků kinematické analýzy mechanismů

Zásady pro vypracování:

- 1) Seznamte se s problematikou tvorby kinematických řetězců a proveďte analýzu z hlediska výstupních veličin a parametrů.
- 2) Seznamte se se základními principy grafické animace.
- 3) Sestavte a odzkoušejte program pro grafickou interpretaci výsledků, případně mezivýsledků kinematické analýzy mechanismů.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

V 184 / 93 T

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



3146076101

ASŘ / KTK

Obsah

1. Úvod	5
2. Teoretický rozbor úlohy	7
3. Rozbor programu pro kinematickou analýzu	15
4. Algoritmus úlohy	25
5. Realizace algoritmu úlohy, popis programu	32
6. Příklad	36
7. Závěr	37
8. Seznam použité literatury	38

1. Úvod

Jednou z oblastí, ve které se uplatnily osobní počítače, je vytváření matematických modelů. Matematické modely mohou pomocí matematických vztahů popisovat nejrůznější objekty. V technické praxi lze s výhodou použít matematické modelování pro popis mechanismů a jejich animaci.

Při řešení této diplomové práce jsem se nejdříve seznámila s již existujícími programy, které umí vytvářet matematické modely. Jejich součástí jsou vestavěné grafické editory, sloužící k samotné tvorbě modelů, dále programy pro analýzu mechanismů a animaci pohybu. Jedním z této třídy programů je například program ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical Systems), který je produktem americké firmy Mechanical Dynamic, Inc. ADAMS je světově nejrozšířenější software pro kinematickou a dynamickou analýzu soustav. Je dodáván pro širokou třídu počítačů, která zahrnuje i PC 386/486. ADAMS popisuje chování mechanických soustav s velkými výchylkami a je vhodný při modelování všech úloh spojitých systémů. Při modelování uživatel programu používá graficky ovládané uživatelské prostředí a ze základních stavebních prvků modeluje mechanickou soustavu. Po sestavení má uživatel k dispozici několik typů analýzy. Kinematická analýza provádí výpočet posunutí, rychlostí, zrychlení a sil v systému, ve kterém uživatel předepíše vazby a předepsané pohyby pro všechny stupně volnosti soustavy. Dalším takovým programem je program DE/MEC od firmy Destop Engineering. Tento program obsahuje blok pro modelování a analýzu prostorových mechanismů. Editace mechanismu se provádí výběrem jednotlivých entit z příslušného menu. Na stejném principu se provádí i zadávání parametrů pro

analýzu.

Velkou nevýhodou těchto programů je jejich vysoká cena (ADAMS pro PC stojí 29 000 DEM), která zabraňuje jejich širšímu použití ve výrobní praxi nebo na technicky zaměřených školách.

Cílem této diplomové práce je sestavit program, který umožňuje grafickou interpretaci výsledků kinematické analýzy mechanismů. Jeho úkolem je animace pohybu zadaného mechanismu na výstupním zařízení (displeji). Program vynikl na základě požadavku Katedry textilních a oděvních strojů. Je spojen s grafickým editorem, který byl vytvořen v loňském roce, a pro kinematickou analýzu využívá software vytvořený na této katedře. Program bylo nutné upravit tak, aby mohl používat datové struktury z grafického editoru a kinematické analýzy. Vychází i z omezení těchto programů, umí pracovat pouze s rovinnými mechanismy s rotačními vazbami.

Program lze použít pro inženýrskou praxi nebo pro výuku předmětů s problematikou mechanismů.

K tomuto programu byl měl být sestaven další blok, který by umožňoval editaci vačkových a ozubených mechanismů, popřípadě jejich animaci, dále blok, který by řešil dynamickou analýzu mechanismů.

2. Teoretický rozbor úlohy

2.1 ZÁKLADNÍ POJMY

MECHANISMUS

- je tvořen soustavou navzájem pohyblivě spojených těles, z nichž jedno se nepohybuje (nebo je považováno za nehybné) a tvoří rám.

ROVINNÝ MECHANISMUS

- je mechanismus, jehož jednotlivé členy se pohybují v rovinách navzájem rovnoběžných.

ČLENY MECHANISMU

- nazýváme jednotlivá tělesa mechanismu.

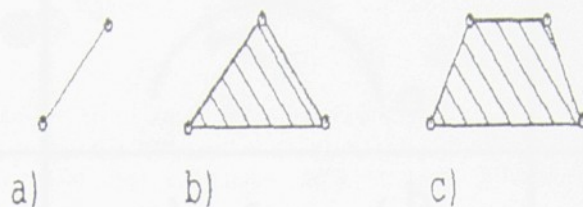
KINEMATICKÉ DVOJICE

- tvoří je dva členy, které se dotýkají a jsou spolu pohyblivě spojeny. V užším slova smyslu rozumíme kinematickou dvojici často jen vazbu ve spojení obou těles.

PRVKY KINEMATICKÉ DVOJICE

- jsou plochy, křivky nebo body členů, které realizují vazbu kinematické dvojice. Vzájemná poloha dvou členů, vázaných kinematickou dvojicí, je určena souřadnicemi této dvojice. Kinematické dvojice dělíme na nižší a vyšší. U nižších se členy stýkají v ploše, u vyšších se stýkají v křivce nebo v bodě. Říkáme, že kinematická dvojice je j -té třídy, jestliže odebírá relativnímu pohybu obou členů, jakožto volných těles, j stupňů volnosti. Člen, který je prostřednictvím kinematických dvojic spojen s j dalšími členy, je j -tého stupně. Člen druhého stupně se nazývá též binární, člen třetího stupně ternární atd. Na obr.2.1a)b)c) je znázorněn binární, ternární a kvaternární člen s rotačními vazbami.

obr. 2.1

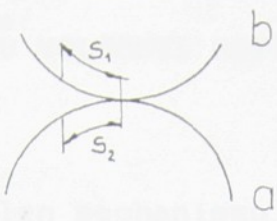
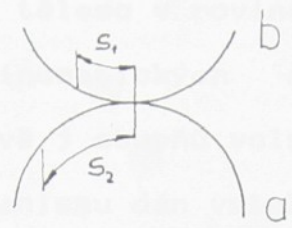


ROVINNÉ KINEMATICKÉ DVOJICE

- mezi rovinné kinematické dvojice patří dvojice rotační, posuvná, valivá a obecná. První tři jsou 2.třídy (odebírají mechanismu po 2° volnosti), čtvrtá je 1.třídy. Přehledně jsou uvedeny v tab.1. Členy spojené valivou dvojicí se po sobě valí (odpovídající oblouky s_1, s_2 jsou stejně dlouhé); členy vázané obecnou dvojicí se po sobě smýkají (odpovídající oblouky s_1, s_2 jsou různě dlouhé, popřípadě se redukují na bod).

tab. 1

název	schéma	relativní pohyb b:a	třída
ROTAČNÍ		rotace	2
POSUVNÁ		posuv	2

VALIVÁ		valení	2
OBECNÁ		smýkání	1

KINEMATICKÝ ŘETĚZEC

- spojíme-li několik členů (těles) kinematickými dvojicemi, dostaneme kinematický řetězec.

HNACÍ ČLENY

- jsou členy, kterými se pohání mechanismus, ostatní jsou členy hnané. Pohyb hnacích členů je jednoznačně určen pohyb celého mechanismu. Hnací členy nazýváme též vstupní. Ty z hnaných členů, které konají požadovaný pohyb (pro nějž byl mechanismus konstruován), nazýváme výstupní. Pohyb hnacích členů je dán kinematickými veličinami - rychlostí, zrychlením.

2.2 VYTVÁŘENÍ KINEMATICKÝCH SCHÉMAT

Při kinematickém řešení se mechanismy nepřekreslují podrobně jako na výrobních výkresech, ale znázorňují se v podobě jednoduchých kinematických schémat. Tato schémata charakterizují základní vlastnosti mechanismů, důležité pro kinematické řešení, zejména počet, druh a rozměry, kinematické dvojice, polohové a kinematické veličiny hnacích členů apod.

2.3 POČET STUPŇŮ VOLNOSTI ROVINNÉHO MECHANISMU

Každý pohyblivý člen mechanismu (tj. všechny členy kromě rámu) by měl jako volné těleso v rovině 3° volnosti. Tato pohyblivost se snižuje vlivem kinematických dvojic, přičemž dvojice j-té třídy odebírá soustavě j stupňů volnosti. Celkově je tedy počet stupňů volnosti mechanismu dán vztahem

$$n = 3 (m - 1) - \sum_{j=1}^2 j d_j \quad (2.1)$$

kde m je celkový počet členů včetně rámu

d_j počet kinematických dvojic j-té třídy

2.4 ANALYTICKÉ KINEMATICKÉ VYŠETŘOVÁNÍ MECHANISMU

Cílem kinematického vyšetřování mechanismů je analytickými metodami určit polohy, rychlosti a zrychlení libovolného bodu kteréhokoliv mechanismu v závislosti na poloze, rychlosti a zrychlení hnacích členů či dvojic.

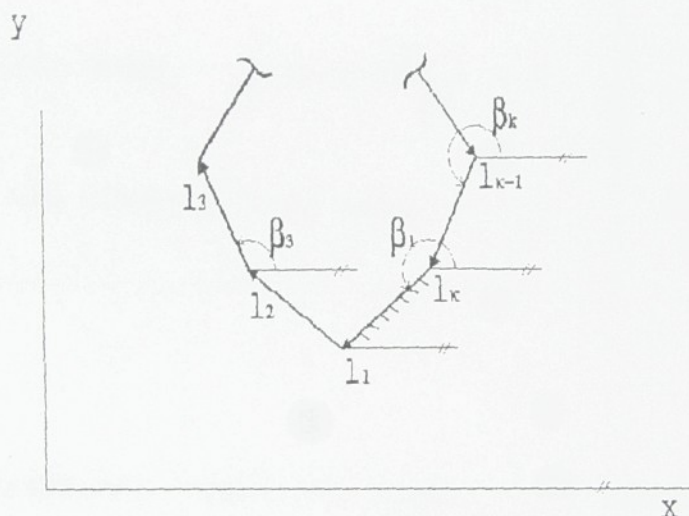
2.4.1 VEKTOROVÁ METODA

Vektorová metoda popisuje schémata rovinného mechanismu vektorovými mnohoúhelníky a dává obecný návod, jak získat rovnice pro polohu i rovnice pro rychlosti a zrychlení mechanismu.

Při kinematickém vyšetřování je pohyb hnacích členů (dvojic) dán; vyšetřuje se pohyb hnaných členů a jejich významných bodů.

JEDNODUCHÉ MECHANISMY

Kinematické schémata jednoduchého rovinného mechanismu můžeme charakterizovat mnohoúhelníkem, jehož body leží ve středech kloubů, na osách posuvných dvojic, ve významných bodech vazbových křivek obecných a valivých dvojic apod. Strany mnohoúhelníku považujeme za vektory l_j , které se v témže smyslu sledují; úhly β_j , které vektory svírají s osou x , budeme vždy měřit od osy x k vektoru v kladném smyslu, viz obr.2.2



obr. 2.2

Podmínka uzavřenosti vektorového mnohoúhelníku zní

$$l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{k-1} + l_k = 0$$

(2.2)

Rozepíšeme-li tento vektorový vztah do rovnic skalárních, např. pro osy x a y dostaneme

$$\sum_{j=1}^k l_j \cos \beta_j = 0$$

$$\sum_{j=1}^k l_j \sin \beta_j = 0$$

(2.3)

Vztah (2.3) vyjadřuje rovnice polohy mechanismu. Derivací těchto rovnic podle času dostaneme rovnice rychlostí

$$\sum_{j=1}^k (\dot{l}_j \cos \beta_j - l_j \dot{\beta}_j \sin \beta_j) = 0$$

(2.4)

$$\sum_{j=1}^k (\dot{l}_j \sin \beta_j + l_j \dot{\beta}_j \cos \beta_j) = 0$$

Známe-li rychlosti hnacích členů (a polohy všech členů - závislé souřadnice získáme z rovnic (2.3)), můžeme z těchto rovnic vypočítat rychlosti $\dot{l}_j$ posuvných pohybů a úhlové rychlosti $\dot{\beta}_j$ rotačních a obecných pohybů.

Další derivací podle času dostaneme rovnice pro zrychlení

$$\begin{aligned}
 \sum_{j=1}^k (\ddot{l}_j \cos \beta_j - 2 \dot{l}_j \dot{\beta}_j \sin \beta_j - l_j \dot{\beta}_j^2 \cos \beta_j - \\
 - l_j \ddot{\beta}_j \sin \beta_j) = 0 \\
 \sum_{j=1}^k (\ddot{l}_j \beta \sin_j + 2 \dot{l}_j \dot{\beta}_j \cos \beta_j - l_j \dot{\beta}_j^2 \sin \beta_j + \\
 + l_j \ddot{\beta}_j \cos \beta_j) = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

Při známé poloze a rychlostech všech členů a zrychleních hnacích členů se určují těmito rovnicemi dvě neznámá zrychlení závislých pohybů

Po vyšetření pohybu vlastního mechanismu (pohybu jeho hnaných členů) můžeme snadno vyjádřit pohyb obecného bodu libovolného jeho členu - obr.2.3. Polohu bodu v pohybujícím se tělese určíme vzhledem k vhodnému vrcholu vektorového mnohoúhelníku dvěma vektory l_{k1}, l_{k2} a připojíme vektor l_0 , určující polohu celého obrazu v soustavě $0, x, y$.

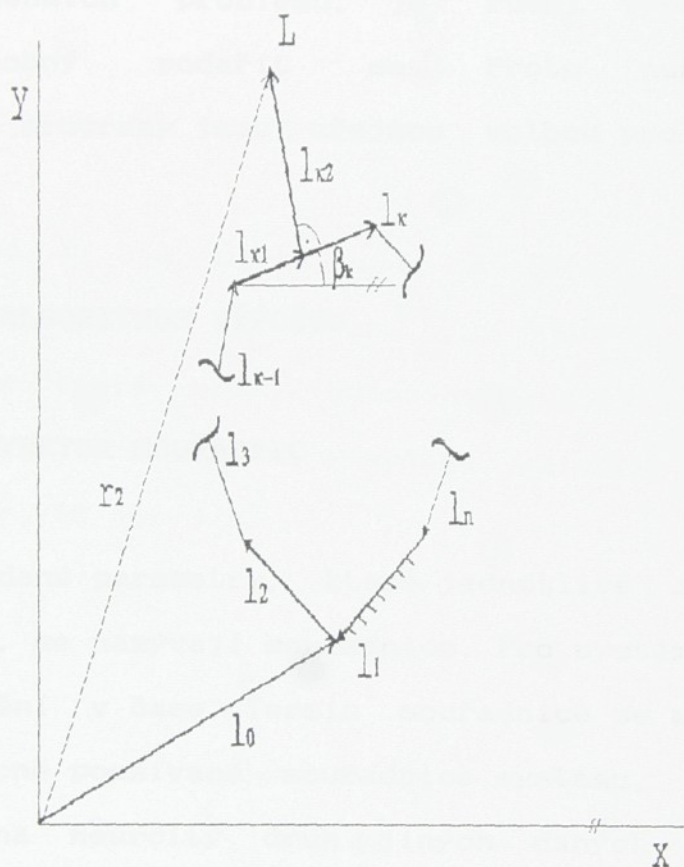
Pak pro polohový vektor obecného bodu L členu k platí

$$r_L = l_0 + l_2 + l_3 + \dots + l_{k-1} + l_{k1} + l_k \tag{2.6}$$

Rozepsáním dostáváme

$$x_L = l_0 \cos \beta_0 + l_2 \cos \beta_2 + \dots + l_{k-1} \cos \beta_{k-1} + l_{k-1} \cos \beta_k - l_{k2} \sin \beta_k \quad (2.7)$$

$$y_L = l_0 \sin \beta_0 + l_2 \cos \beta_2 + \dots + l_{k-1} \sin \beta_{k-1} + l_{k1} \sin \beta_k + l_{k2} \cos \beta_k$$



obr. 2.3

Rychlost a zrychlení dobu L jsou určeny rovnicemi

$$v_L = \dot{x}_L i + \dot{y}_L j \quad (2.8)$$

$$a_L = \ddot{x}_L i + \ddot{y}_L j$$

3. Rozbor programu pro analýzu

Kinematická analýza obvykle požaduje řešení nelineárních algebraických rovnic. Pro malé problémy s málo proměnnými a s malým počtem rovnic je možné řešit tyto rovnice ručně. Nicméně, pro větší problémy s několika rovnicemi a pro přesné analýzy menších problémů, je ruční výpočet zdlouhavý a nepravděpodobný podařit se. Proto numerické metody a počítačové programy jsou zřejmou volbou pro rychlý a přesný výpočet.

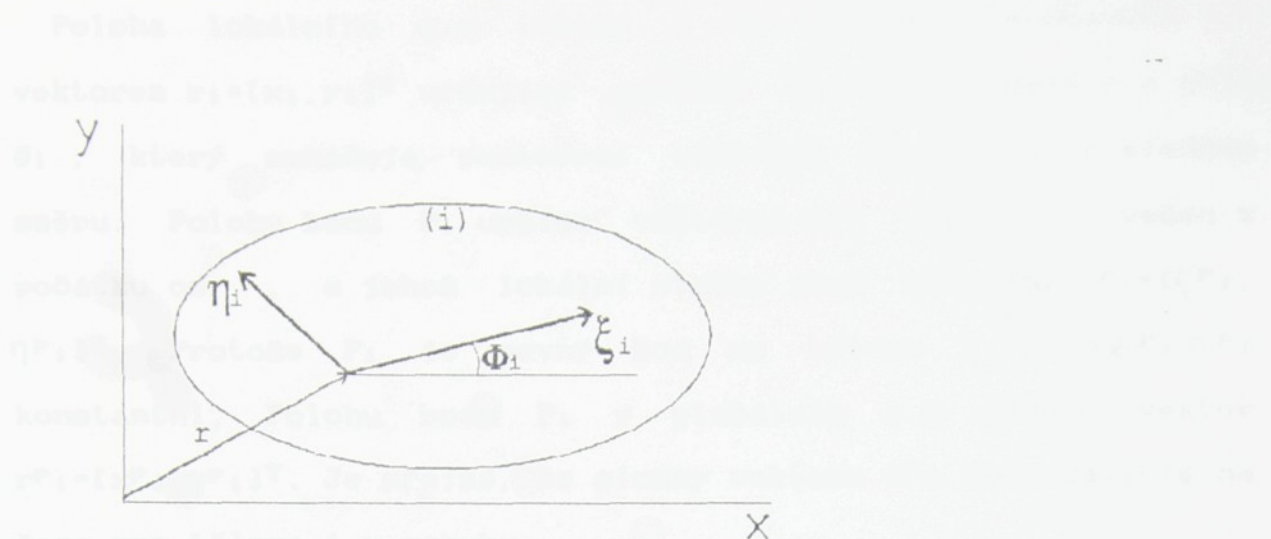
3.1 ALGORITHMUS VÝPOČTU

3.1.1 VEKTOR SOUŘADNIC

Všechny dané parametry, které jednotlivě specifikují polohu všech těles, se nazývají souřadnice. Pro systém v pohybu se tyto parametry mění v čase. Termín souřadnice se může vztahovat na všechny obecně používané souřadnice systému, ale také se může vztahovat na neurčitý druh jiných daných parametrů, které specifikují uspořádání systému. V našem případě používáme pro popis mechanismu souřadnice kartézské.

Pro popis kinematických řetězců se používá dvou souřadných systémů - základní (globální) a lokální souřadný systém, který udává umístění jednotlivých kinematických dvojic. Poloha jednotlivých lokálních s.s je dána souřadnicemi počátku a úhlem pootočení Φ vzhledem k ose x globálního s.s . Na obr.3.4 je příklad globálního s.s x, y a lokálního s.s η, ξ . i -té kinematické dvojice. Vektor souřadnic $q_i = [x_i, y_i, \Phi_i]^T$, pak udává polohu

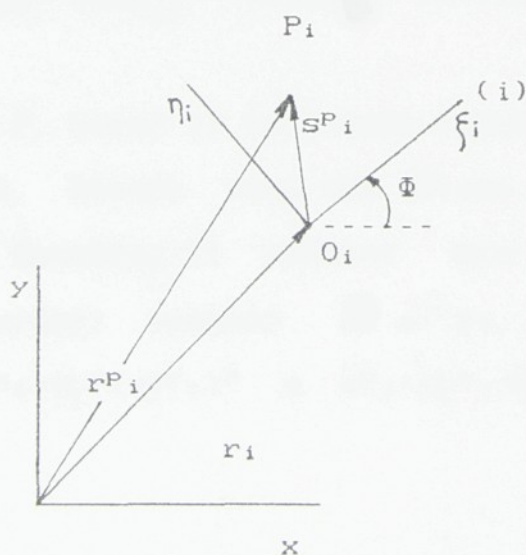
lokálního s.s i-té kinematické dvojice v globálním s.s .



obr. 3.4

3.1.2 SOUŘADNICE POHYBU BODU

Nechť bod P_i je pevný bod na tělese i . Aby bylo možné specifikovat stav mechanismu, je nutné nejdříve definovat souřadnice, které určují umístění jednotlivých těles a bodů. Zvolme tedy globální s.s a určíme umístění lokálního s.s pro těleso i - viz obr.3.5



obr.3.5

Poloha lokálního s.s. tělesa i je určena v globálním s.s. vektorem $r_i = [x_i, y_i]^T$ určující počátek O_i lokálního s.s. a úhlem Φ_i , který označuje pootočení vzhledem k ose x v kladném směru. Polohu bodu P_i určíme vektorem s^{P_i} , který je veden z počátku os, a jehož lokální složky jsou označeny $s^{P_i} = [\xi^{P_i}, \eta^{P_i}]^T$. Protože P_i je pevný bod na tělese i , jsou ξ^{P_i}, η^{P_i} konstantní. Polohu bodu P_i v globálním s.s. určuje vektor $r^{P_i} = [x^{P_i}, y^{P_i}]^T$. Je zřejmé, že složky vektoru r^{P_i} jsou závislé na čase pro těleso i v pohybu.

Relaci mezi globálním a lokálním s.s. vyjadřuje vztah

$$r^{P_i} = r_i + A_i s^{P_i} \quad (3.7)$$

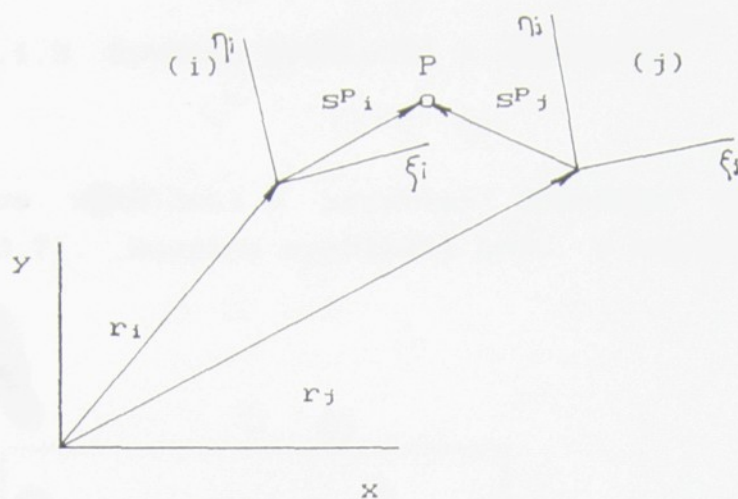
kde $r^{P_i} = [x^{P_i}, y^{P_i}]^T$ je průvodič bodu P_i v základním s.s.

$s^{P_i} = [\xi_i, \eta_i]$ je průvodič téhož bodu v s.s. tělesa

$r_i = [x_i, y_i]$ je průvodič počátku O_i v základním s.s.

$A_i = \begin{bmatrix} \cos\Phi & -\sin\Phi \\ \sin\Phi & \cos\Phi \end{bmatrix}$ je transformační matice obecného pohybu tělesa v rovině

Pro bod P , který je společným bodem tělesa i a tělesa j (bod P je kloub, kterým jsou obě tělesa spojena), je určení polohy obdobné. Zavedeme-li lokální s.s. pro každé těleso, jejichž polohu určují vektory r_i a r_j , polohu bodu P můžeme určit vektory $s^{P_i} = [\xi^{P_i}, \eta^{P_i}]^T$ a $s^{P_j} = [\xi^{P_j}, \eta^{P_j}]^T$ - viz obr.3.6.



obr.3.6

Složky vektoru s^{P_i} a s^{P_j} jsou konstantní. Z vektorové smyčky dostáváme rovnici

$$r_i + s^{P_i} - r_j - s^{P_j} = 0 \quad (3.9)$$

Tento vztah je ekvivaletní se vztahem

$$r_i + A_i s^{P_i} - r_j - A_j s^{P_j} = 0 \quad (3.10)$$

Více jasnější je však vztah (3.10) napsaný ve formě

$$\begin{bmatrix} x^{P_i} - x^{P_j} \\ y^{P_i} - y^{P_j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

3.1.3 ROVNICE RYCHLOSTÍ A ZRYCHLENÍ

Rovnice rychlosti a zrychlení odvodíme derivací podle času vztahu (3.7). Rovnice rychlosti bodu v souřadném systému xy má tvar

$$\begin{aligned}\dot{\mathbf{r}}^P_i &= \dot{\mathbf{r}}_i + \dot{\mathbf{A}}_i \mathbf{s}^P_i \\ &= \dot{\mathbf{r}}_i + \mathbf{B}_i \mathbf{s}^P_i \dot{\Phi}_i\end{aligned}\quad (3.12)$$

kde $\mathbf{B}_i = \begin{bmatrix} -\sin \Phi_i & -\cos \Phi_i \\ \cos \Phi_i & \sin \Phi_i \end{bmatrix}$

Derivací podle času vztahu (3.12) dostáváme zrychlení bodu P

$$\begin{aligned}\ddot{\mathbf{r}}^P_i &= \ddot{\mathbf{r}}_i + \ddot{\mathbf{A}}_i \mathbf{s}^P_i \\ &= \ddot{\mathbf{r}}_i + \mathbf{B}_i \mathbf{s}^P_i \ddot{\Phi}_i - \mathbf{A}_i \mathbf{s}^P_i \dot{\Phi}_i^2\end{aligned}\quad (3.13)$$

3.1.4 SYSTEMATICKÁ GENERACE NĚKTERÝCH ZÁKLADNÍCH PRVKŮ

Systematická generace Jacobiho matice a pravé strany rovnic pro zrychlení kinematické dvojice, může být nejlépe ukázána na derivaci prvků rotační kinematické dvojice.

Pro odvození použijeme vztahu (3.10), který rozepíšeme do jednotlivých rovnic a tyto rovnice označíme jako $\Phi^{(r,1)}, \Phi^{(r,2)}$

$$\begin{aligned}\Phi(r,1) &\equiv X_1 + \xi P_1 \cos\Phi_1 - \eta P_1 \sin\Phi_1 - x_j - \\ &\quad - \xi P_j \cos\Phi_j + \eta P_j \sin\Phi_j = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Phi(r,2) &\equiv y_1 + \xi P_1 \sin\Phi_1 - \eta P_1 \cos\Phi_1 - y_j - \\ &\quad - \xi P_j \sin\Phi_j - \eta P_j \cos\Phi_j = 0\end{aligned}$$

+

Parciální derivací těchto rovnic určíme složky Jacobiho matice. Nenulové derivace, pro zjednodušení dalších zápisů, označíme čísli.

$$1 \equiv \frac{\partial \Phi(r,1)}{\partial x_1} = 1.0 \qquad \frac{\partial \Phi(r,1)}{\partial y_1} = 0.0$$

$$2 \equiv \frac{\partial \Phi(r,1)}{\partial \Phi_1} = -\xi P_1 \sin\Phi_1 + \eta P_1 \cos\Phi_1 = -y_1 P + y_1$$

$$3 \equiv \frac{\partial \Phi(r,1)}{\partial x_j} = -1.0 \qquad \frac{\partial \Phi(r,1)}{\partial y_j} = 0.0$$

$$4 \equiv \frac{\partial \Phi(r,1)}{\partial \Phi_j} = \xi P_j \sin\Phi_j + \eta P_j \cos\Phi_j = y P_j - y_j$$

$$\frac{\partial \Phi(r,2)}{\partial x_1} = 0.0 \qquad 5 \equiv \frac{\partial \Phi(r,2)}{\partial y_1} = 1.0$$

$$6 \equiv \frac{\partial \Phi(r, z)}{\partial \Phi_i} = \xi P_i \cos \Phi_i - \eta P_i \sin \Phi_i = x^{P_i} - x_i$$

$$\frac{\partial \Phi(r, z)}{\partial x_j} = 0.0$$

$$7 \equiv \frac{\partial \Phi(r, z)}{\partial y_j} = -1.0$$

(3.14)

$$8 \equiv \frac{\partial \Phi(r, z)}{\partial \Phi_j} = \xi P_j \cos \Phi_j + \eta P_j \sin \Phi_j = -x^{P_j} + x_j$$

Jacobiho matice pro rotační dvojice mezi tělesem i a j zapíšeme do tvaru

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 & 3 & 0 & 4 \\ 0 & 5 & 6 & 0 & 7 & 8 \end{bmatrix}$$

Přidáme-li k této formě vektor jednotlivých složek tělesa i a j zderivovaných podle času, dostaneme rovnice rychlosti.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 & 3 & 0 & 4 \\ 0 & 5 & 6 & 0 & 7 & 8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{y}_i \\ \dot{\Phi}_i \\ \dot{x}_j \\ \dot{y}_j \\ \dot{\Phi}_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Druhou derivací podle času dostáváme rovnice zrychlení

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 2 & 3 & 0 & 4 \\ 0 & 5 & 6 & 0 & 7 & 8 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{x}_i \\ \ddot{y}_i \\ \ddot{\Phi}_i \\ \ddot{x}_j \\ \ddot{y}_j \\ \ddot{\Phi}_j \end{bmatrix} = \delta(r, z)$$

kde

$$\begin{aligned} \delta(r, z) &= \begin{bmatrix} (\xi^{P_i} \cos \Phi_i - \eta^{P_i} \sin \Phi_i) \ddot{\Phi}_i - (\xi^{P_j} \cos \Phi_j - \eta^{P_j} \sin \Phi_j) \ddot{\Phi}_j \\ (\xi^{P_i} \sin \Phi_i + \eta^{P_i} \cos \Phi_i) \ddot{\Phi}_i - (\xi^{P_j} \sin \Phi_j + \eta^{P_j} \cos \Phi_j) \ddot{\Phi}_j \end{bmatrix} \\ &= s^{P_i} \ddot{\Phi}_i - s^{P_j} \ddot{\Phi}_j \end{aligned} \quad (3.15)$$

Ke vztahům (3.14) a (3.15) můžeme poznamenat, že složky Jacobiho matice a vektoru pravé strany rovnic zrychlení, mohou být systematictěji generovány v počítačovém programu.

3.2 SOUBOR VSTUPNÍCH DAT

Pro spuštění výpočtu kinematické analýzy je nutné vytvořit soubor vstupních dat v následném struktuře

- 3* - typ analýzy (výpočet polohy , rychlosti , zrychlení)
- TST* - počáteční čas výpočtu
- TSL* - koncový čas výpočtu
- DT* - časový krok výpočtu
- PocCl - počet členů bez rámu
- PocRot - počet rotačních kinematických dvojic
- PocPos - počet posuvných kinematických dvojic
- NDR* - počet hnacích členů

Blok úhlů pootočení lokálních
souřadných systémů

Φ_1
.

Φ_n

Blok rotačních vazeb

----- Popis jednoho bodu -----

číslo 1.členu

číslo 2.členu

poloha x,y v souř. syst. členu 1

poloha x,y v souř. syst. členu 2

(body se zapisují v bloku za sebou)

Blok hnacích členů *

----- Popis jednoho členu -----

číslo 1.tělesa hnacího členu

číslo 2.tělesa hnacího členu

zrychlení, rychlost, úhel pootočení v $t=0$

typ hnacího členu / posuvný, rotační /

(hnací členy se zapisují v bloku za sebou)

NKP* - počet bodů určených k analýze

Blok bodů *

----- Popis jednoho bodu -----

číslo členu

poloha x,y v souř. syst. tělesa

(body se v bloku zapisují za sebou)

Data a bloky označené * se zadávají v programovém bloku animace, ostatní data (tj. data popisující strukturu mechanismu) jsou odečítána z grafického editoru.

3.3 STRUKTURA VÝSTUPNÍHO SOUBORU

Tento soubor vznikne po úspěšném výpočtu kinematické analýzy.

Blok n-tého kroku výpočtu

TIM - čas výpočtu n-tého kroku

----- Popis jednoho členu -----

poloha x,y a úhel pootočení v globálním s.s

(členy se zapisují v bloku za sebou)

----- Popis bodu určeného k analýze -----

poloha x,y

rychlost v ose x,y

zrychlení v ose x,y

(body se zapisují v bloku za sebou)

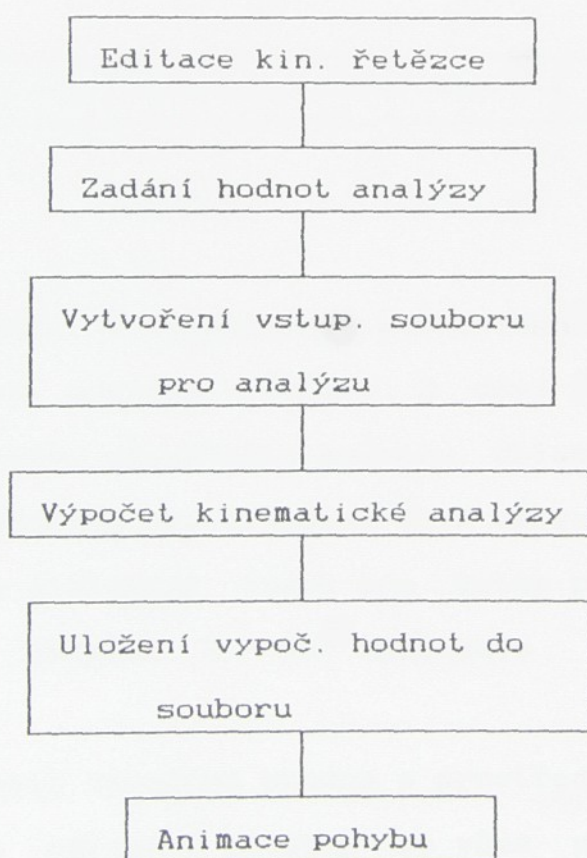
(bloky se zapisují za sebou)

4. Algoritmus úlohy

V následující části bude popsáno, jak byla řešena animace pohybu rovinných mechanismů, která je výsledkem této diplomové práce.

4.1 ZÁKLADNÍ POPIS A OMEZENÍ ALGORITMU

Algoritmus, který je použit v programu, má za úkol provést animaci pohybu mechanismů. Vlastní animaci musí nejdříve předcházet editace žádaného mechanismu a výpočet kinematické analýzy tohoto mechanismu. Základní popis algoritmu je uveden na obr. 4.7



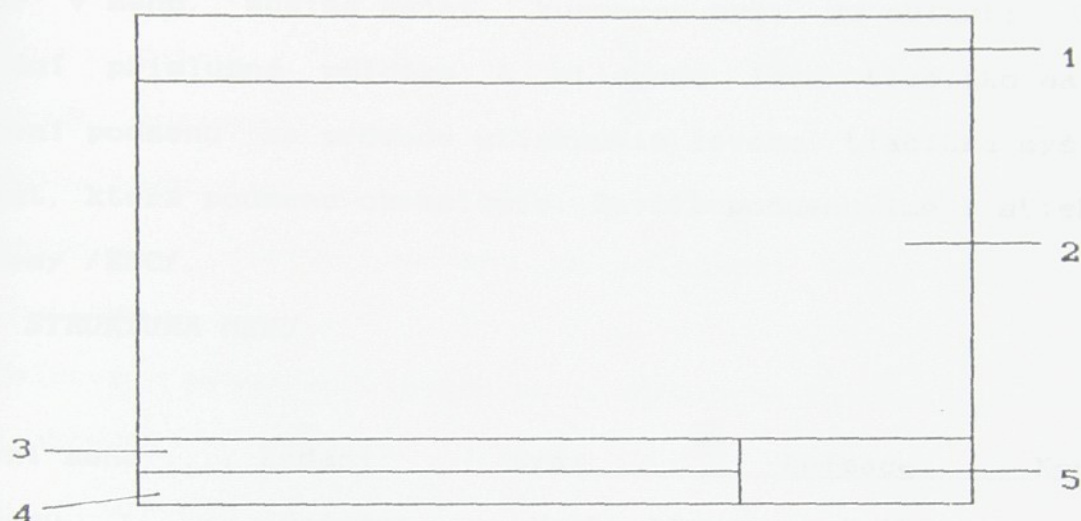
obr. 4.7

Algoritmus je omezen na animaci pohybu mechanismů, které jsou rovinné a obsahují rotační kinematické vazby.

4.2 USPOŘÁDÁNÍ PRACOVNÍ PLOCHY NA DISPLEJI.

CHARAKTERISTIKY JEDNOTLIVÝCH PRACOVNÍCH OBLASTÍ

Na obr.4.8 je schématicky znázorněno rozvržení uživatelské pracovní plochy. Oblast 1 představuje plochu v níž je umístěna hlavní nabídka (menu).



obr.4.8

Oblast 2 složí k zobrazení mechanismu a tabulek pro zadání parametrů pro analýzu. Oblast 3 dává informaci a nastavení adresáře a názvu aktuálního souboru. Oblast 4 je použita jednak pro tisk průvodního textu, který dává uživateli pokyny, a dále je použita jako dialogový řádek pro vstup programem požadovaných informací. V oblasti 5 se zobrazuje aktuální čas pohybu mechanismu.

Prostředí bylo navrženo shodné s prostředím grafického editoru a tak, aby měl uživatel přístup ke všem potřebným informacím a pracovní plocha byla co nejjednodušší a nejpřehlednější.

4.3 POPIS HLAVNÍHO MENU A STRUČNÝ POPIS FUNKCÍ,

KTERÉ JSOU Z MENU VOLÁNY

Soustava menu je řešena tak, že každá zvolená položka v hlavním menu otvírá podmenu s dílčími položkami. Po zvolení dílčí položky se zavolá odpovídající procedura.

Hlavní menu a podmenu se ovládá pomocí myši. Chceme-li provést výběr v menu, musíme najet kurzorem myši do oblasti, kde se nachází příslušná položka a stisknou levé tlačítko na myši. Zavření podmenu se provede stisknutím levého tlačítka myši mimo oblast, která podmenu ohraničuje. Zavřít podmenu lze i stisknutím klávesy /ESC/.

STRUKTURA MENU

hlavni menu	<u>Zadání</u>	<u>Graf</u>	<u>Animace</u>	<u>Konec</u>
podmenu.....	Poč.čas	Volba členu	Celková	
	Konc.čas	Volba bodu	Krokování	
	Krok		Poloha	
	Kinemat.vel.			
	Body analýzy			
	Výpočet			

POPIS POLOŽEK MENU

Zadání - otevře se podmenu s položkami, ve kterých se zadávají údaje potřebné pro výpočet kinematické analýzy.

Poč. čas - umožní uživateli zvolit počáteční čas výpočtu kin. analýzy.

Konc. čas - umožní uživateli zadat koncový čas výpočtu kin. analýzy.

Krok - umožní uživateli zadat krok výpočtu kin. analýzy.

Kinemat. vel. - otevře v oblasti 2 tabulku, ve které se zadávají parametry hnacích členů.

Body analýzy - otevře v oblasti 2 tabulku pro zadání bodů určených k analýze.

Výpočet - uloží kinemat. veličin do souboru a provede výpočet analýzy.

Graf - otevře podmenu s položkami pro znázornění grafické závislosti kinemat. veličin.

Volba členu - umožní výběr členu a na základě této volby provede znázornění grafů v oblasti 2.

Volba bodu - umožní volbu bodu a znázorní grafy v oblasti 2.

Animace - otevře podmenu s položkami pro animaci pohybu mechanismu.

Celková - provede celkovou animaci pohybu mechanismu.

Krokování - provede animaci pohybu mechan. po jednotlivých krocích výpočtu analýzy.

Poloha - umožní výběr času výpočtu určité polohy mechanismu a tuto polohu znázorní.

Konec - ukončí práci programu.

4.4 BLOK ZADÁNÍ KINEMATICKÝCH VELIČIN

Pro hladký průběh výpočtu kinemat. analýzy je nutné vytvořit datový soubor, který bude obsahovat popis mechanismu a hodnoty kinem. veličin. Algoritmus umožňuje zadání těchto hodnot v dílčích položkách podmenu hlavního menu Zadání.

Počáteční, koncový čas a krok výpočtu se zadává přímo v tomto podmenu najetím kurzoru myši na příslušnou položku a zmáčknutím levého tlačítka myši. V oblasti 4 se objeví pokyn pro zadání a uživatel do této oblasti zapíše požadovanou hodnotu, která se

zároveň zapíše do příslušné položky v podmenu. Opakovaným výběrem položky je možné provést opravu těchto tří hodnot.

Kinematické veličiny a volba hnacích členů se provádí v tabulce, která se znázorní po výběru položky Kinemat. vel.. Každému hnacímu členu přísluší jedna tabulka, resp. počtem hnacích členů je dán počet tabulek pro zadání. Pro každý hnací člen je nutné zadat těleso, které je hnacím členem (dané členem A,B), zrychlení, rychlost a úhel pootočení v $t=0$. Zadání těchto hodnot se provádí najetím kurzoru myši do příslušné oblasti a zmáčknutím levého tlačítka myši. Po provedení výběru se objeví v oblasti 3 pokyn pro zadání, hodnoty uživatel zapisuje přímo do tabulky. Opravu hodnot je možné provést opakovaným výběrem položky, je-li však ukončeno zadávání, tabulka je uzavřena a oprava je možné jen opakovaným zadáním všech hodnot (tzn. provést nové zadání).

Pomocí tabulky se zadávají i body určené k analýze. Princip zadání parametrů těchto bodů je stejný jako u zadání hnacích členů. Počtu bodů odpovídá počet tabulek. Je nutné zadat člen, na kterém bod leží, a souřadnice x, y polohy bodu v globálním s.s..

Uvedené hodnoty jsou uloženy do datového souboru, který je doplněn o popis struktury mechanismu, a je vstupním souborem pro analýzu.

4.5 BLOK VÝPOČTU ANALÝZY

Je-li uložen soubor s parametry potřebnými pro výpočet analýzy, může výpočet proběhnout. Algoritmus výpočtu nejdříve přečte vstupní soubor, pak provede výpočet a vypočtené hodnoty zapíše do souboru *.vys. Výpočet se provede mimo grafické prostředí a po vytvoření výstupního souboru je proveden návrat do

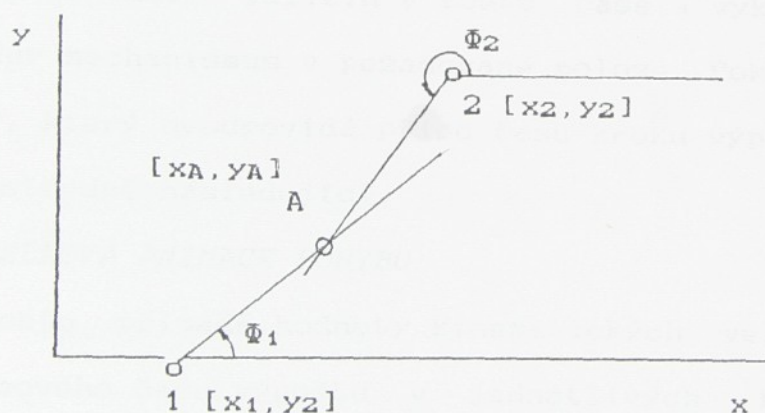
toho prostředí.

4.6 ALGORITMUS ANIMACE POHYBU

Algoritmus animace spočívá v načtení výstupního datového souboru *x.vys* a přiřazení hodnot kinemat. veličin příslušným proměnným. Protože výstupní soubor neobsahuje hodnoty souřadnic všech rotačních vazeb, je nutné tyto hodnoty dopočítat. Po načtení a výpočtu zbývajících hodnot jsou zavolány příslušné procedury, které kreslí jednotlivé členy mechanismu v jednotlivých krocích výpočtu, popř. poloze.

VÝPOČET SOUŘADNIC

Pro zjednodušení uvedeme jednoduchý příklad. V souboru *x.vys* jsou v *n*-tém kroku výpočtu vypočteny hodnoty *x, y, Φ* pro člen označený 1 a 2 - viz obr. 4.9 a je nutné zjistit polohu (tj. *x, y*) bodu A, který je průsečíkem přímek členů 1, 2.



obr. 4.9

Při výpočtu *x_A, y_A* vycházíme z určení směrnice přímek 1, 2. Směrnice označíme *K₁, K₂*

$$K_1 = \operatorname{tg} \Phi_1 = \frac{y_A - y_1}{x_A - x_1}$$

$$K_1 = \operatorname{tg} \Phi_1 = \frac{y_A - y_1}{x_A - x_1} \quad (4.17)$$

Řešením rovnic (4.17) dostáváme rovnice pro výpočet souřadnic x_A, y_A

$$x_A = \frac{K_1 x_1 - y_1 K_2 x_2 + y_2}{K_1 - K_2}$$

$$y_A = -K_2 x_2 + y_2 + K_2 x_A \quad (4.18)$$

Struktura a složení mechanismu je jednoznačně určena editací žádaného mechanismu. Algoritmus volá procedury, které kreslí tato složení, a přiřazuje požadované hodnoty.

POLOHA MECHANISMU

Algoritmus v tomto případě umožní uživateli zvolení požadovaného času výpočtu, globálním proměnným přiřadí příslušné hodnoty kinemat. veličin v tomto čase a vykreslí pomocí daných procedur mechanismus v požadované poloze. Pokud uživatel zadá čas polohy, který neodpovídá přímo času kroku výpočtu, je vybrán čas bezprostředně následující.

CELKOVÁ ANIMACE POHYBU

V tomto případě hodnoty kinematických veličin od počátečního do koncového času výpočtu v jednotlivých krocích a postupně vykresluje mechanismu.

5. Realizace algoritmu úlohy, popis programu

V této kapitole bude uvedeno, jakým způsobem byl algoritmus úlohy prakticky řešen v programu, který je výsledkem této diplomové práce.

5.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

Programový systém byl sestaven a laděn na osobních počítačích třídy IBM řady AT s grafickými kartami VGA nebo EGA. Zdrojový text programu byl psán v programovacím jazyku TurboPascal pro osobní počítače pod operačním systémem DR DOS v 6.0.

Jméno výsledného modulu programového systému je MEDAN.EXE.

Upozornění - program MEDAN.EXE používá v bloku grafického editoru soubor ICONS.EGA, ve kterém jsou uloženy grafické informace, týkající se programem používaných ikon.

5.2 SPUŠTĚNÍ PROGRAMOVÉHO SYSTÉMU

Pro spuštění programu je nutné, aby soubory MEDAN.EXE a ICONS.EGA byly uloženy ve stejném adresáři. Pokud je tato podmínka splněna a je nastavena cesta do adresáře, který obsahuje tyto soubory, může uživatel spustit programový systém MEDAN.

Pokud není v operační paměti počítače přítomen rezidentní řídicí program pro ovládání myši, programový systém se nespustí.

5.3 PROGRAMOVÉ ŘEŠENÍ

5.3.1 STRUKTURA CELÉHO PROGRAMU

System jako celek se skládá z několika programových jednotek (unit), které mezi sebou komunikují. Komunikace mezi nimi probíhá prostřednictvím jedné unity, která obsahuje pouze deklaraci globálních proměnných. Program využívá některých unit, které byly vytvořeny při řešení grafického editoru, a tím se snížil rozsah celého programu.

Program používá standartních knihoven TurboPascalu. Knihovnu GRAPH - knihovna podpory grafického režimu, DOS - knihovna základních DOSovských příkazů, CRT - knihovna zaměřena na ovládání klávesnice a displeje, OVERLAY - knihovna, které realizuje překrývání částí programu v paměti. Další používané jednotky (unity) nejsou obsaženy ve standartních knihovnách TP.

5.3.2 SEZNAM GLOBÁLNÍCH PROMĚNNÝCH

V této kapitole je uvedena struktura všech paměťových proměnných.

----- proměnné pro výpočet analýzy -----

TST - počáteční čas výpočtu analýzy, typ real

TSL - koncový čas výpočtu, typ real

DT - krok výpočtu, typ real

CM - typ hnacího členu (posuvný, rotační), typ real

----- proměnné polohy mechanismu po výpočtu analýzy ---

XA - poloha v ose x, typ pole[1..50,1..10] typu real

YA - poloha v ose y, typ pole[1..50,1..10] typu real

FIA - úhel pootočení, typ pole[1..50,1..10] typu real

CAS - čas výpočtu v jednotlivých krocích výpočtu,

typ pole[1..50] typu real;

5.3.3 NESTANDARTNÍ UNITY VYUŽÍVANÉ PROGRAMEM

Jak již bylo uvedeno v programu jsou použity některé unity, které byly vytvořeny při řešení grafického editoru. Unity byly upraveny, popř. doplněny procedurami, tak, aby mohly být použity v obou blocích. Propojení unit je uvedeno na obr. 4.10

GenMouse.TPU - programová jednotka pro spolupráci programového systému s ovladačem myši. Tato spolupráce je zajištěna přes přerušení INT 33H.

CsText.TPU - jednotka dokreslování čárek, háčků a kroužků vytváří možnost tisku zpráv na displeji v českém jazyce.

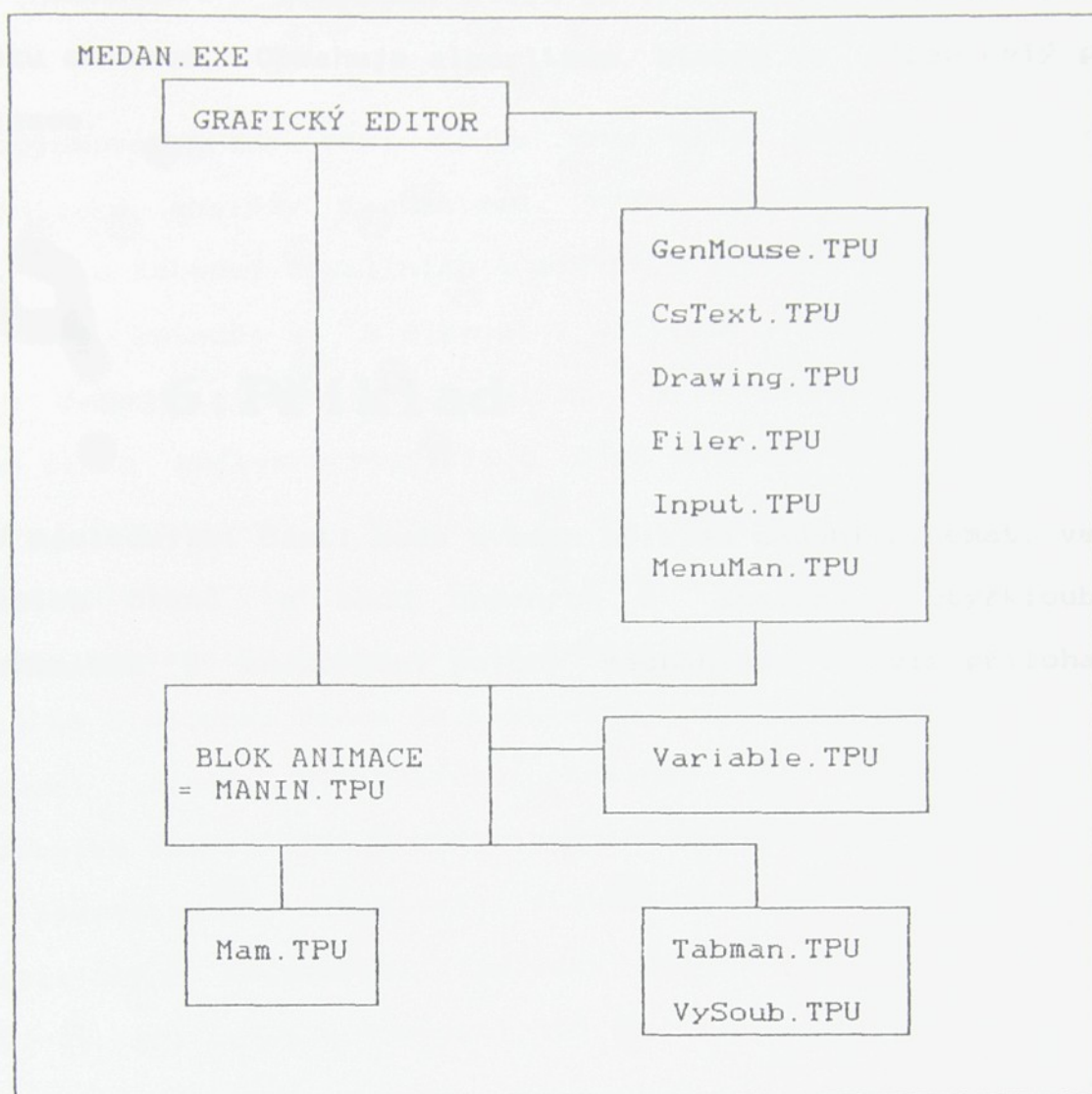
Drawing.TPU - v této jednotce jsou obsaženy všechny procedury, které kreslí nějaký objekt na displeji (mimo kreslení menu podmenu). Obsahuje procedury, které vytváří uživatelské prostředí na displeji.

Filer.TPU - jednotka obsahuje proceduru pro nastavení aktuálního adresáře.

Input.TPU - jednotka, která umožňuje vstup čísel a znaků z klávesnice i po inicializaci grafického režimu (po inicializaci je nekorektní používat procedury pro vstup z knihovny CRT).

MenuMan.TPU - jednotka řeší dílčí úkony při používání menu, jako uložení obsahu grafické obrazovky v oblasti, kde se má otevřít podmenu, a provádí výběr v menu. Tyto procedury jsou řízeny vyšším algoritmem, který je ovládá a je obsažen v jednotce *MANIM.TPU*.

Variable.TPU - jednotka obsahuje pouze deklaraci všech globálních proměnných použitých v bloku editace a bloku animace.



obr. 4.10

Tabman.TPU - jednotka obsahuje procedury kreslící tabulky pro zadání kinematických veličin a proceduru, která provádí uložení vstupního souboru dat pro analýzu. Je zde i procedura, která spouští výpočet kinem. analýzy.

VySoub.TPU - jednotka obsahuje proceduru, která provádí načítání souboru *.vys, dále proceduru, která znázorňuje grafické závislosti vypočtených kinem. vel.

Mam.TPU - jednotka vytvořená z hlavního programu kinem. analýzy. Obsahuje procedury provádějící samotný výpočet. Algoritmu řízení výpočtu je obsažen v této jednotce.

MANIM.TPU - jednotka, která je vytvořena z hlavního programu bloku animace. Obsahuje algoritmus, kterým je řízen celý proces animace.

6. Příklad

V následující části bude uveden příklad zadání kinemat. veličin hnacích členů a bodů určených k analýze čtyřkloubového mechanismu a znázornění polohy mechanismu - viz příloha.

7. Závěr

Diplomová práce řeší úlohu grafického zpracování výsledků kinematické analýzy mechanismů. Práce vznikla jako požadavek pracovníku Katedry textilních a oděvních strojů. Vzhledem k tomu, že na této katedře je k dispozici software pro grafickou editaci a pro řešení kinematické analýzy, bylo snahou této diplomové práce tento software rozšířit o blok animace výsledků analýzy pohybu mechanismů. Rozsahem se stala diplomová práce interdisciplinární a proto se v teoretické části podrobně zabývá popisem základních pojmů teorie mechanismů a kinematické analýzy. Těžištěm diplomové práce je sestavení algoritmu, který zpracovává výstupní údaje kinematické analýzy do formy požadované uživatelem. Snahou bylo vytvořit interaktivní způsob zadávání dat při respektování struktury stávajícího softwaru na výpočet kinematických mechanismů. Výsledky diplomové práce se budou využívat při výuce a činnosti KTS.

8. Seznam použité literatury

- V.BrátKinematika, SNTL,1987
- F.Jirásek Řešené příklady z matematiky 1,
SNTL,1987
- E.P.Nikravesch.....Computer Aided Analysis of
Mechanical Systems , Usa,1988
- K.Císařová, J.Tišer Počítačová grafika, VŠst 1992
- P.Brůžek Interaktivní zadávání modelu
mechanismů pro řešení jejich
kinematické analýzy, Diplomová
práce , VŠst 1992
- Propagační materiál firmy E.S.I.T, a.s
- Manuál TurboPascal v. 7.0

Tabulka pro zadání parametrů hncích členů

Zadání	Graf	Animace	Konec																
<table border="1"><thead><tr><th colspan="2">1.hnací člen</th></tr></thead><tbody><tr><td>Člen A</td><td>: 0</td></tr><tr><td>Člen B</td><td>: 1</td></tr><tr><td>Hnací člen</td><td>: « -</td></tr><tr><td>Zrychlení - C1</td><td>:</td></tr><tr><td>Rychlost - C2</td><td>:</td></tr><tr><td>Úhel v $t=0$ - C3</td><td>:</td></tr><tr><td colspan="2">Konec zadávání</td></tr></tbody></table>				1.hnací člen		Člen A	: 0	Člen B	: 1	Hnací člen	: « -	Zrychlení - C1	:	Rychlost - C2	:	Úhel v $t=0$ - C3	:	Konec zadávání	
1.hnací člen																			
Člen A	: 0																		
Člen B	: 1																		
Hnací člen	: « -																		
Zrychlení - C1	:																		
Rychlost - C2	:																		
Úhel v $t=0$ - C3	:																		
Konec zadávání																			
Soubor - Noname																			
Hnací člen ROTAČNÍ(=1), POSUVNÝ(=2)																			

Příloha č.2

Tabulka pro zadání bodů určených k analýze

Zadání	Graf	Animace	Konec															
<table border="1"><tr><td colspan="3">1.bod</td></tr><tr><td>Člen</td><td>:</td><td>2</td></tr><tr><td>Souřadnice x</td><td>:</td><td>30</td></tr><tr><td>Souřadnice y</td><td>:</td><td>« -</td></tr><tr><td colspan="3">Konec zadání</td></tr></table>				1.bod			Člen	:	2	Souřadnice x	:	30	Souřadnice y	:	« -	Konec zadání		
1.bod																		
Člen	:	2																
Souřadnice x	:	30																
Souřadnice y	:	« -																
Konec zadání																		
Soubor - Noname																		
Zadej souřadnici y																		

Příloha č.3

Spustění výpočtu kinem. analýzy

Zadání	Graf	Animace	Konec
Provést výpočet analýzy ANO« NE			
Soubor - Noname			