



## **1. ROBOTOK KIALAKULÁSÁNAK** **ÁTTEKINTÉSE**

- 1946 G.C. Devol kifejleszt egy villamosjelek feldolgozására alkalmas vezérlőberendezést, amelyet később mechanikus berendezések vezérléséhez alkalmaznak.**
- 1951 Goertz és Bergsland kifejleszti a teleoperátort (amerikai szabadalom).**
- 1954 C. W. Kenward egy robotfejlesztési szabadalmat nyújt be (két karos portál sínen mozgó robot).**
- 1959 Az első kommerciális ipari robot.**
- 1960 Az első Unimate robot (számjegyes vezérlés, hidraulikus hajtás).**
- 1966 A Trallfa kifejleszti és installálja az első festőrobotot.**
- 1971 Kifejlesztik a Stanford kart, amely egy tisztán villamos hajtású kisrobot, amely a PUMA sorozat előfutára.**



- 1973 Az első kísérleti robotprogramozási nyelv.**
- 1974 Az ASEA bevezeti az IRb6 villamos hajtású robotot.**
- 1975 Az első szerelési művelet Olivetti SIGMA robottal.**
- 1976 A Charles Draper laboratóriumban kifejlesztik a rugalmas csuklót szereléshez.**
- 1978 Az Unimation PUMA sorozatának a bevezetése.**
- 1979 A Yamanashi Egyetem kifejleszti a SCARA robotot.**
- 1984 A Waseda Egyetemen kifejlesztik a WABOT-2 antropomorph robotot.**
- 1985 Világméretben elkezdődik az autonóm mobil robotoknak a fejlesztése.**



## 2. A ROBOTOK KIALAKULÁSÁNAK TUDOMÁNYOS-, MŰSZAKI- ÉS TÁRSADALMI HÁTTERE

\* 1943-1946 a pensylvániai egyetemen (Moore School) elkészül az első elektronikus kivitelű számológép az *ENIAC* (Electronic Numerical Integrator and Calculator). *John von NEUMANN* a számítógép fejlesztésébe 1943-tól kapcsolódik be. A számítógépet 1956-ban - kifogástalan működése ellenére - elavult volta miatt lebontották. A mai fogalmak szerint a gép viszonylag lassú volt, azonban 1946-ban hihetetlenül gyors gépnek számított.

- A jelenlegi számítógépektől eltérően nem volt a mai értelemben vett memória egysége, tárolási célokra elektroncsöves billenőkörökből felépített 20 db. egyenként tíz decimális jegyre terjedő számláló lánc szolgált.

- Az 1946-os műszaki színvonal és a fejlesztési költségek szinte korlátlan volta az alábbi műszaki jellemzőket eredményezte:

70 m<sup>2</sup> alapterület,  
18.000 ### elektroncső,  
1.500 jelfogó,

**15 [kW] teljesítmény.**

\* **1947-1948 John von NEUMANN és Hermann H. GOLDSTINE** megbízást kapnak vezető katonai köröktől azoknak az elvi problémáknak a tanulmányozására, amelyek a numerikus számítások elektronikus eszközökkel való elvégzésénél felmerülnek. Eredményeiket 1947-ben és 1948-ban bizalmas jelentés formájában zárt körben publikálták. Az 1947-es első jelentésben megfogalmazott konstrukciós elvekre vonatkozó követelmények az alábbiak voltak:

- Szükség van párhuzamosan működő **MEMÓRIAEGYSÉG**-re, amely számokat és utasításokat tud tárolni,
- Szükség van **VEZÉRLŐEGYSÉG**-re, amely különbséget tud tenni a számok és utasítások között,
- Szükség van egy párhuzamos működésű **ARITMETIKAIEGYSÉG**-re, amely bináris rendszerű összeadásra, kivonásra, szorzásra és osztásra alkalmas,
- Szükség van egy olyan **KIMENŐ-BEMENŐ EGYSÉG**-re, amely át tudja hidalni a gép gyors



**memóriaegysége és a lassú emberi memória  
közötti sebesség különbséget.**



\* **1947-1948** a princetoni egyetemen (Institute for Advanced Study) elkezdődik a *NEUMANN-GOLDSTINE* elv alapján egy újabb, az *EDVAC* (Electronic Discrete Variable Calculator) elnevezésű számítógép kivitelezése, amely az első mai értelemben vett elektronikus digitális számítógépnek tekinthető, de a követelményeket egészükben, csak 1960-ra sikerült megoldani.

\* **1948** a *tranzisztor* áramköri építőelem lesz. - A félvezető-technika területén végzett közel húszéves világméretű kutatás után az USA-ban a Bell Laboratóriumban *John BARDEN*, *Walter Huser BRATTAIN* és *Williem SHOKLEY* amerikai tudósoknak sikerül a tranzisztort technikailag alkalmazható erősítő áramköri elemmé fejleszteni.

\* **1952** egy amerikai repülőgépgyár felkérésére elkészül az NC-gép prototípus változata a MIT (Massachusetts Institute of Technology) laboratóriumában. Az alkatrészek programozása APT alapú programnyelvre épül.

\* **1954** *J. W. BACKUS* kidolgozza a FORTRAN (formula translator) programozási nyelvet.



**\* 1956 *John von NEUMANN* a Connecticut állambeli New Haven-ben lévő Yale Egyetem felkérésére a SILIMAN-előadásokra készülve összefoglalja a számí-tástechnika terén végzett addigi kutatásait, amelyet "*Számítgép és az agy*" cím-mel kívánt kiadni. Ezzel lefektette a mesterséges intelligencia kutatásának alapjait. Sajnos megrendült egészségi állapota már nem tette lehetővé, hogy a SILIMAN-előadásokat megtartsa, kéziratai alapján csak felolvasták helyette. Az előadás sorozat sem volt teljes, mert súlyos betegsége abban is megakadályozta, hogy valamennyi előadásának kéziratát elkészítse. 1957. február 8-án bekövetkezett haláláig már nem is hagyta el a washingtoni Walter Reed kórházat.**

**\* 1958 a Texas Instruments cégnél *Jack S. KILBY* elkészíti az első integrált áramkört, amit *chip*-nek neveznek.(A gondolat már 1952-ben felvetődött a Royal Radar Establishment intézetnél).**



**\* 1959-ben a Párizsban tartott 6. európai szerszámgép kiállításon először Európában is bemutatták az NC-szerszámgépet. Az 1967-es Hannover-i kiállításon már több mint 200 hasonló NC-gépet mutattak be. Ezzel a számítógépi elv az ipar számára egy olyan automatizálási eszközt teremtett, amely gyökeresen átalakította az ipari termelési folyamatokat.**

**\* 1959 megjelenik az első kommerciális ipari robotot.**

**\* 1961 a németországi IBM bemutatja a Tele-Processing eljárását. Ezzel az eljárással a telefonon közvetített adatok számítógéppel tovább feldolgozhatók. Az a lehetőség, hogy a számítógépeket telefonhálózat segítségével egymással összekötik, az elektronikus adatfeldolgozás új határát lépte át.**





**\* 1965 Európában elsőként Nyugat-Berlinben helyeznek üzembe közlekedést irányító számítógépet. Az irányító rendszer az úttestben elhelyezett indukciós hurok segítségével adatokat gyűjt a forgalomról, és ennek megfelelően kapcsolja a közlekedési lámpákat, a rendszer tehát egy folyamat optimalizálást is végez.**

**\* 1969 az amerikai APOLLÓ Holdraszállási program keretében fejlesztette ki a számítógépipar az első ún. ADATBANK rendszert. Az adatbank rendszerrel lehetővé vált különböző munkaterületek és szakterületek széles köreinek legfontosabb információit elraktározni és a felhasználói jogosultságokat meghatározni**

**\* 1971 megjelenik a Texas-Instruments cég fejlesztésében a MIKROPROCESSZOR.**

**\* 1983 megjelennek a személyi számítógépek és ezzel kezdetét veszi az irodai automatizálás.**



**\* 1983 a Volkswagen Művek Wolfsburg-i gyárában üzembe helyezték az újonnan felszerelt végszerelő csarnokot, ahol túlnyomórészt robotok dolgoznak. Ez az első állomása annak a folyamatnak, amely a világ több országában Amerikától - Japánig létrehozta - hacsak részfeladatokra is - az automatizált gyárak felé vezető utat, amely átvezet a XXI. századba, nem kis társadalmi feszültséget keltve.**

**A XXI. század az információ százada, ennek új közművei a számítógépes hálózatok, informatikai és automatikai rendszerei fél évtizeddel a századba való belépés előtt nagy elmaradást mutat, pedig a társadalom fejlődésének alapját képezi. Stratégiai és operatív döntések akár termelési, akár a társadalom más szférájának szintjén nélkülük nem hozhatók meg.**

**A felvázolt eredmények össztársadalmi hatása a tudomány egyéb eredményeivel olyan társadalmi átstrukturálódást eredményezett, amelynek hatása ma már globális méretű.**



### **3. ROBOTOK FOGALMI MEGHATÁROZÁSA**

- A **ROBOT** megnevezést a cseh „*robota*” szóból vezetik le, ami *munkát* jelent. Karel Capek cseh drámaíró az egyik színművéből, az 1921-es utópisztikus tragikomédiából származik ez a szó, ahol gépi szörnyet jelentett.

A fogalommal kapcsolatos vitát 1981-ben a VDE (Német Mérnökök Egyesülete) zárta le, amikor egyértelműen leszögezte, hogy az ipari robotok nem androidok és azóta a világviszonylatban elfogadott definíciót adta, amelyet a VDI 2860 irányelvben is rögzített. E szerint:

- a.) **Ipari robot:** univerzálisan állítható többtengelyű mozgó automaták, amelyek mozgásegymásutánisága (utak és szögek) szabadon - mechanikus beavatkozás nélkül - programozható és adott esetben szenzorral vezetett. Megfogóval, szerszámmal vagy más gyártó eszközzel felszerelhetők, anyagkezelési és technológiai feladatra



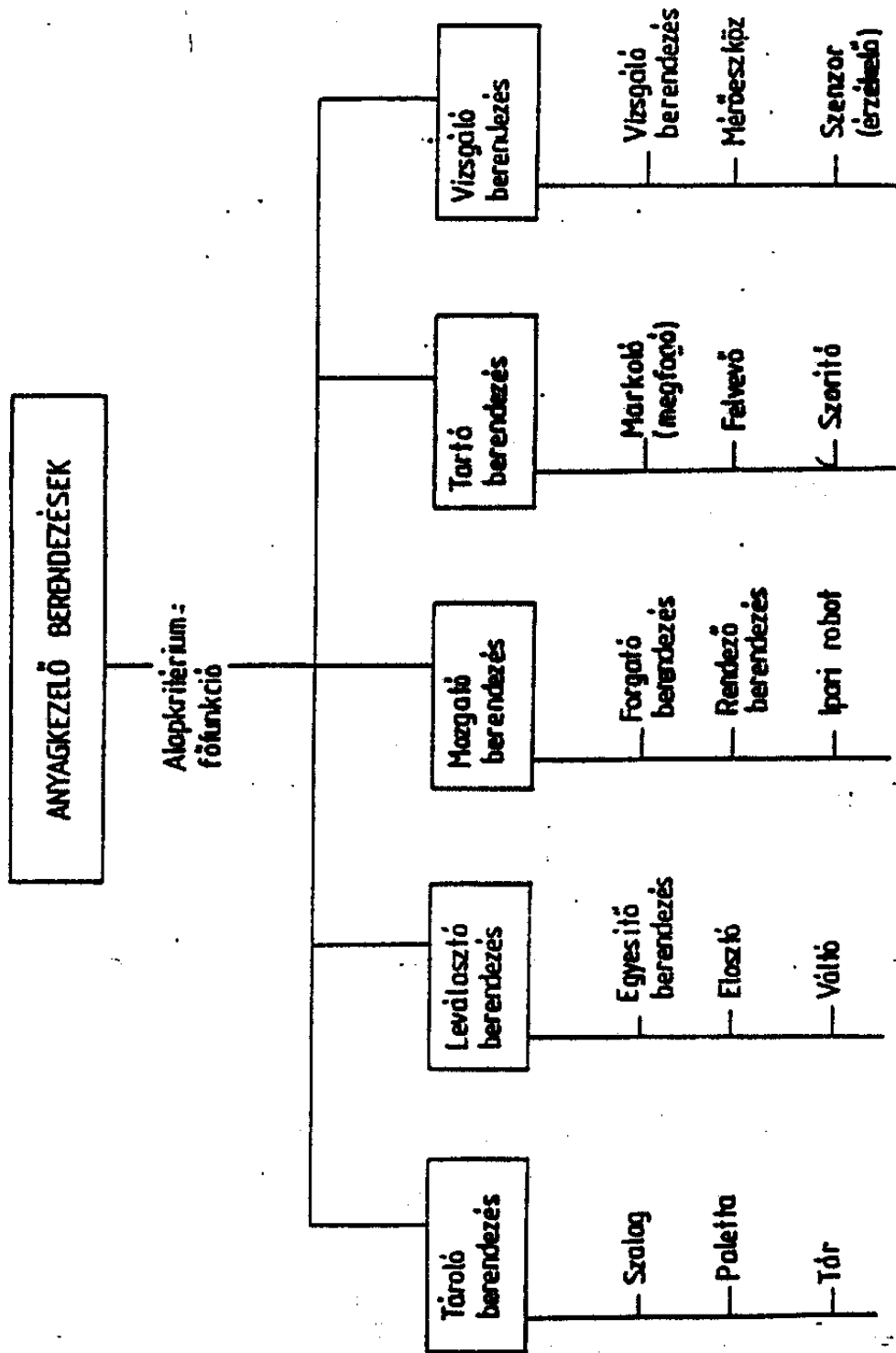
**felhasználhatók.**

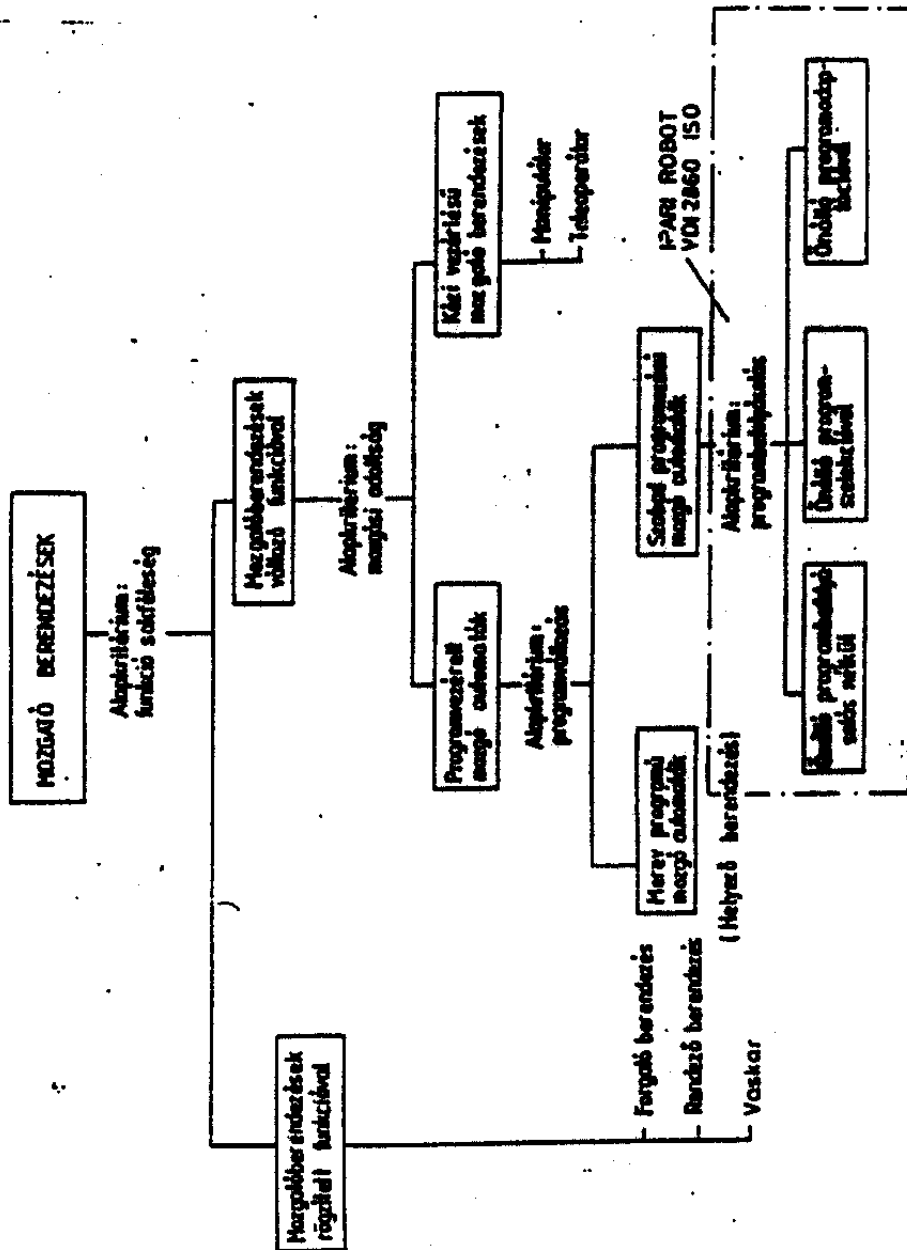


**Az ipari robotok az anyagkezelő berendezésekből fejlődtek ki, ezért a továbbiakban bemutatjuk az ipari robotok fenti definíció szerinti funkcionális elemzését a következő ábrák segítségével.**



Gábor Dénes Főiskola



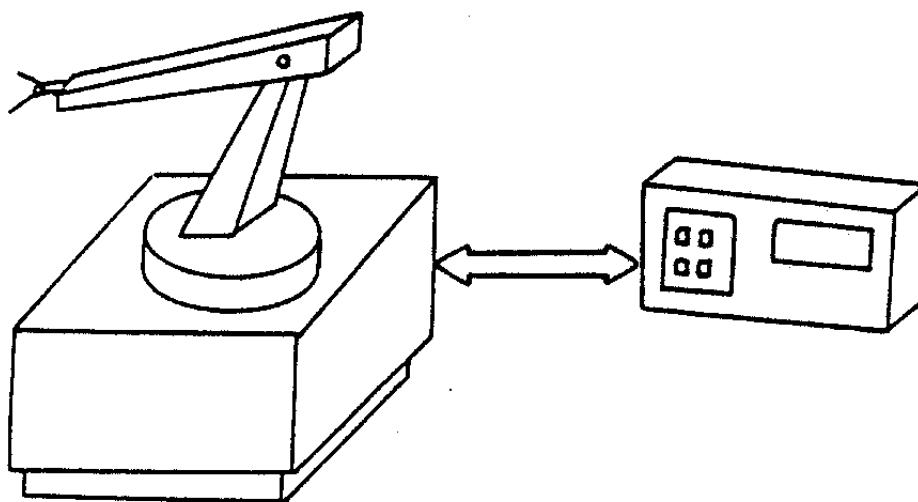




**Az ipari robotok alapdefiníciójából következik a mechanikus beavatkozás nélküli átprogramozhatóság. Ennek az átprogramozhatóságnak több változata lehetséges, amely a robot fejlettségére (intelligenciájára) is utal;**

**- robot önálló program befolyásolás nélkül;**

**Telepítését, az irányítórendszerrel való funkcionális kapcsolatát a következő ábra mutatja. Új mozgásciklus átprogramozással, vagy új program írásával állítható elő és az új mozgásciklus csak ezen az úton realizálható.**

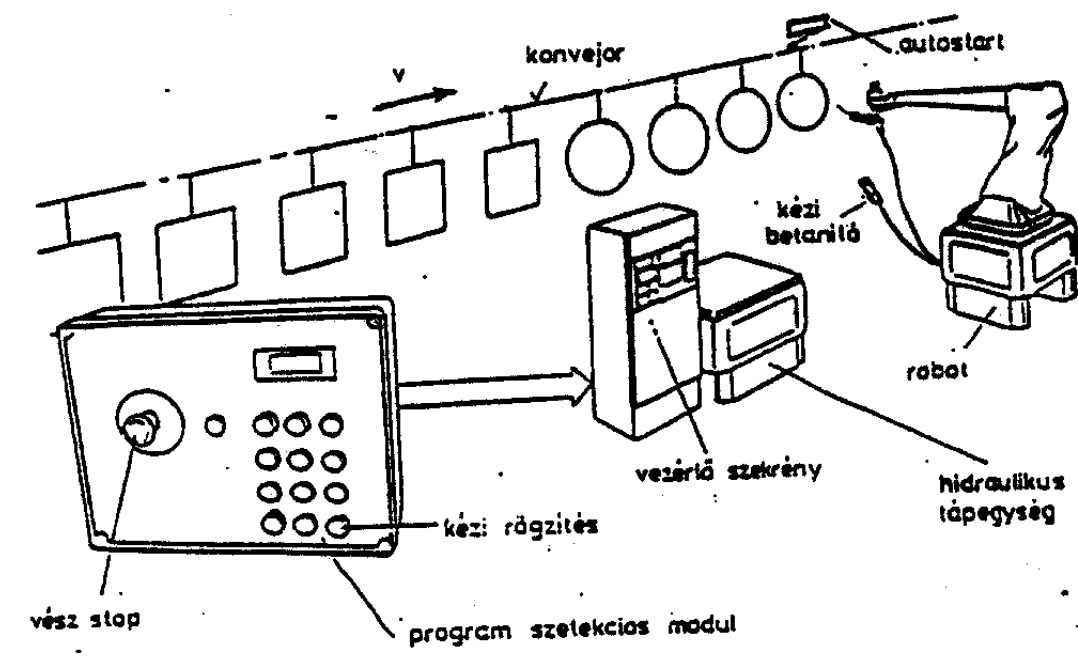


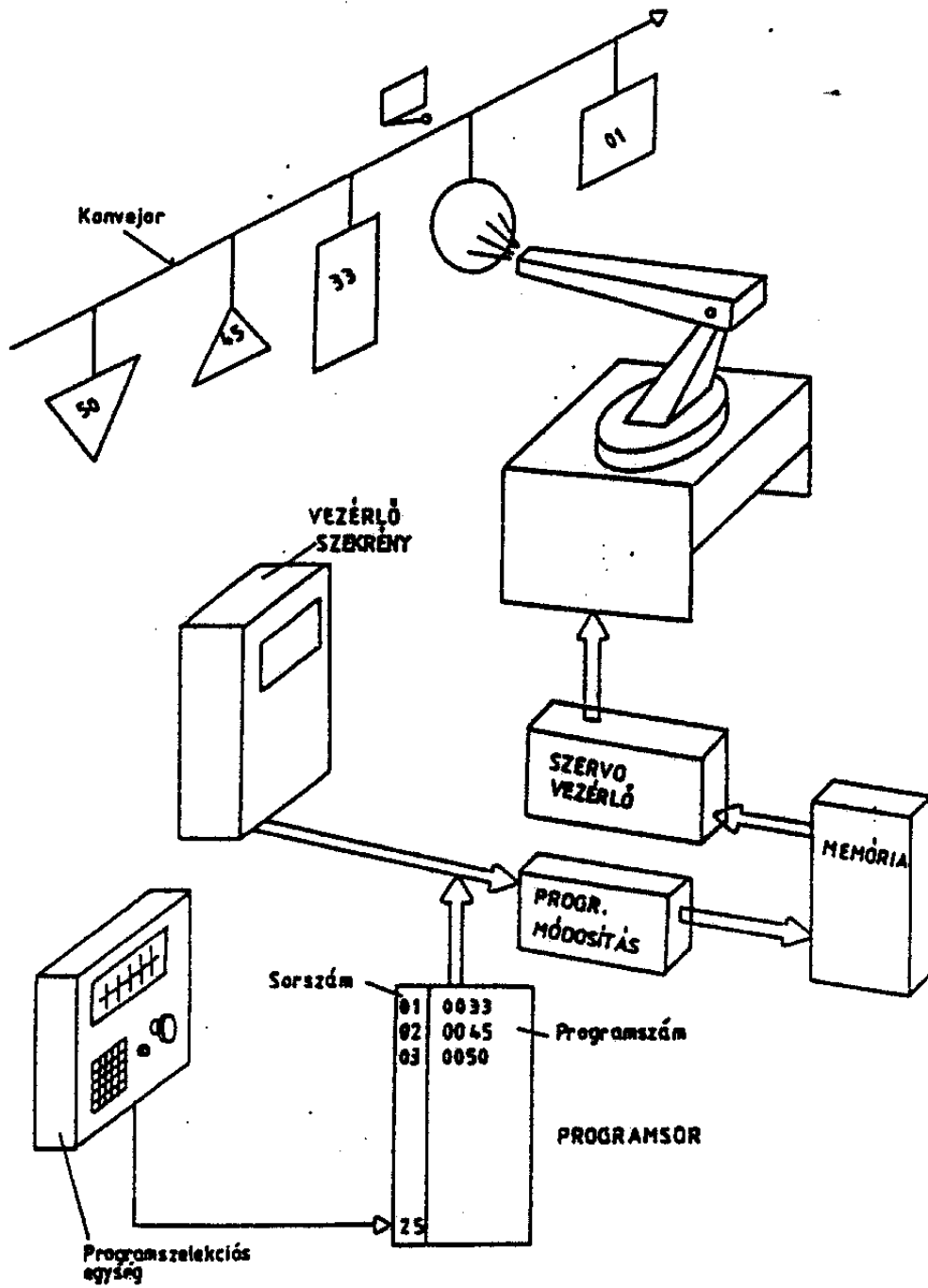




### - robot programszelekcióval;

Telepítése és az irányítórendszerrel való kapcsolata a következő ábrákon látható. Átprogramozható, új program írható, amelyek külső vagy belső memóriába írhatók és tárolhatók. Ezek a különféle programok külső jel hatására tetszőleges sorrendben aktivizálhatók (szelektálhatók).

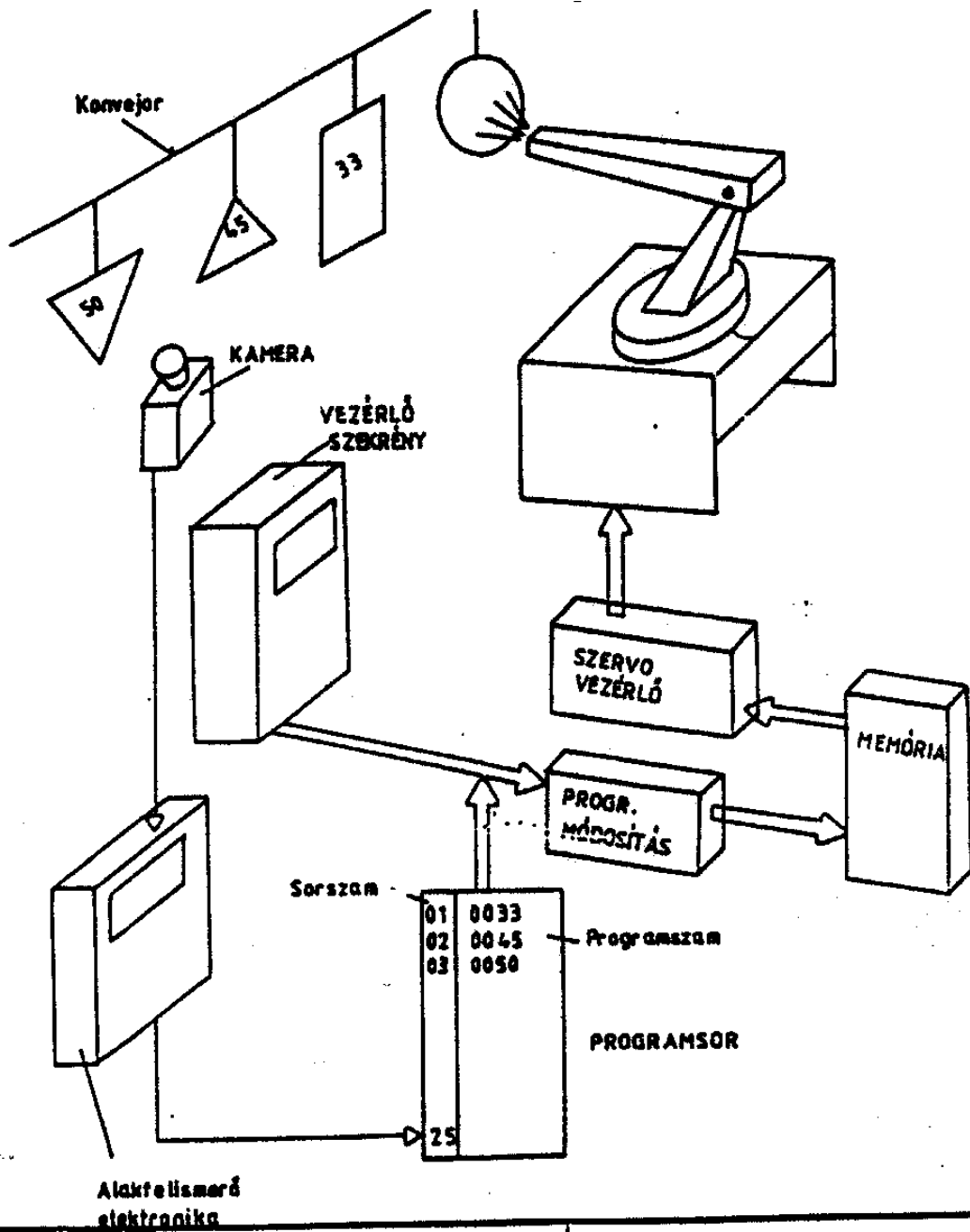






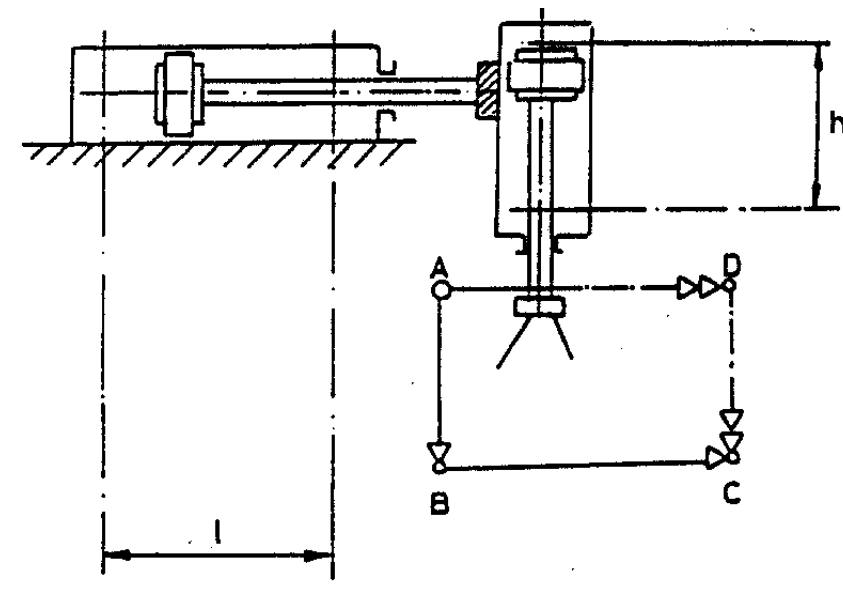
**- robot program adaptációval;**

**Felépítése és az irányítórendszerrel való kapcsolata a következő ábrán követhető, a különböző programok váltását szenzoros adatfeldolgozással automatikusan lehet előállítani.**





b.) **Helyezőberendezés:** mozgó automaták, amelyek mozgásai, mozgás egymásutánisága (és/vagy útja, szöge) egy mereven megadott program szerint fut le, amely mechanikus behatás nélkül nem változik meg. Általában megfogóval van felszerelve.



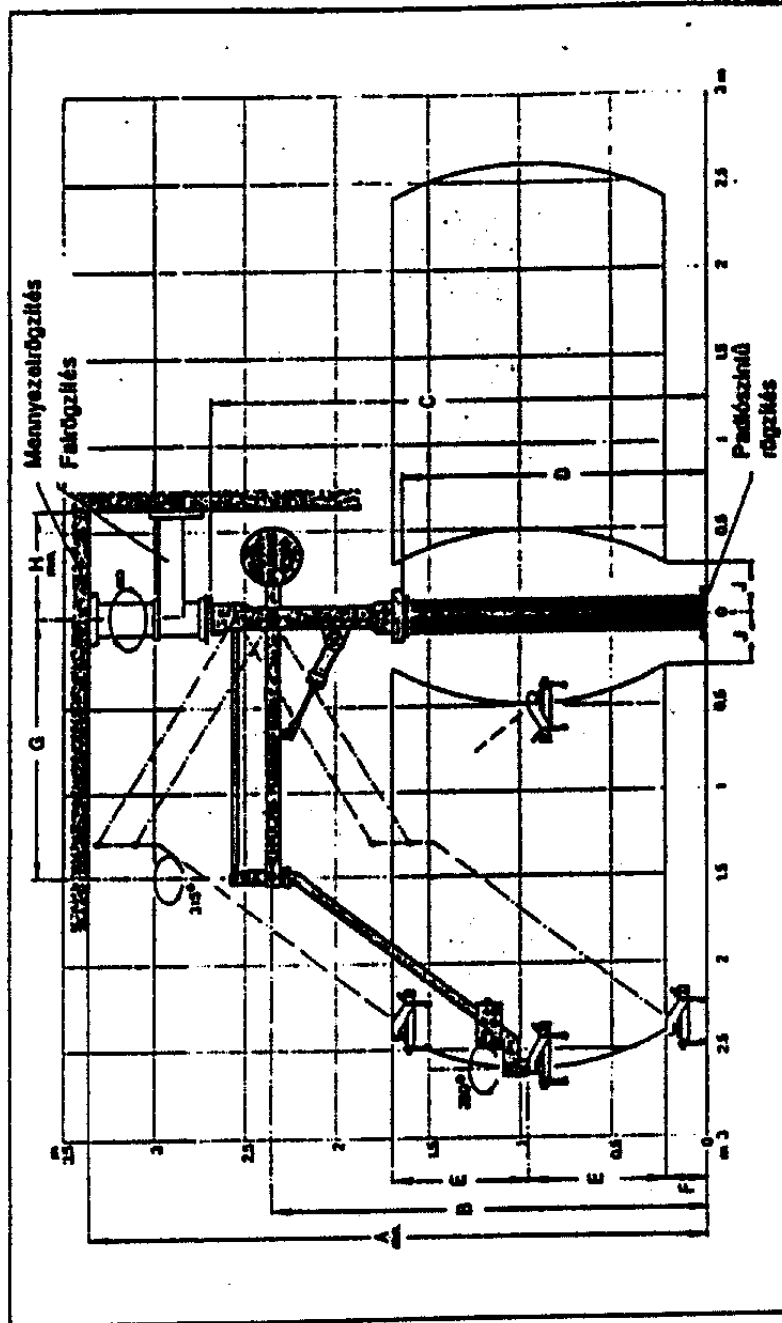


**c.) Manipulátor: kézi vezérlésű mozgóberendezés,  
amelyet különösképpen anyagkezelési  
feladatra használnak. A következő ábra  
mutatja.**

**d.) Teleoperátor: távvezérelt manipulátor.**



MANIPULÁTOR





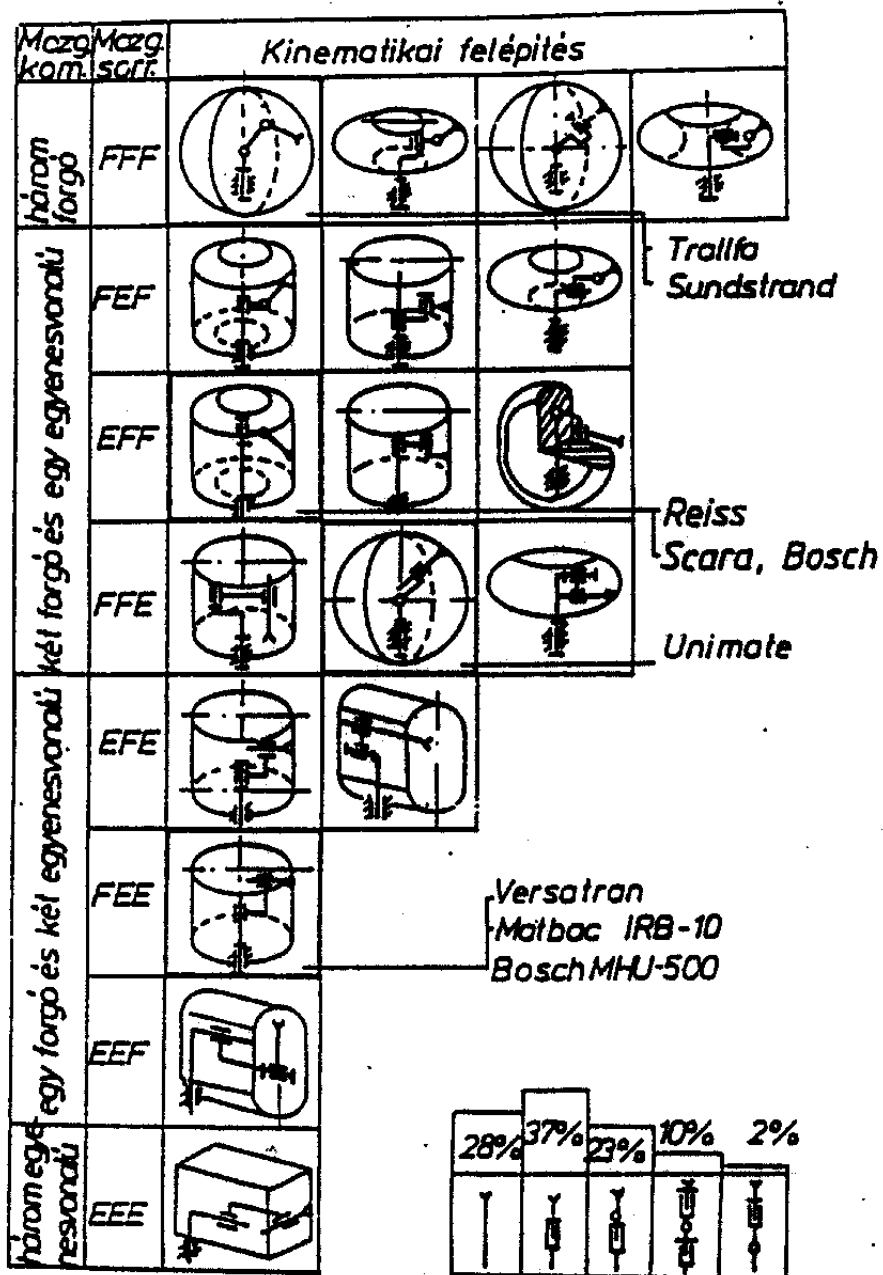
## 4. ROBOTOK CSOPORTOSÍTÁSA

Az ipari robotok kinematikailag *tagokat és kényszereket* tartalmazó elemek térbeli kombinációja. A kényszerek általában *forgómozgást és egyenesvonalú mozgást* tesznek lehetővé. A robotok főmozgását általában három kényszer határozza meg, amelyet *pozíció* mozgásnak nevezünk, további három kényszer pedig az úgynevezett *orientációs* mozgást. A pozíció mozgás  $2^3 = 8$  kinematikai összekapcsolási lehetőséget jelent:

- RRR (FFF),
- RTR (FEF),
- TRR (EFF),
- RRT (FFE),
- TRT (EFE),
- RTT (FEE),
- TTR (EEF),
- TTT (EEE),

amelyek által létrehozott határolótereket a következő ábra mutatja.







Gábor Dénes Főiskola

Kinematikai jelleg	Képi nézet	Kinematikai felépítés	Munkatér	Orientációs mozgási-lehetőségek
Csuklókaros (függőleges síkú)				
Derékszögű koordinálás				
Csuklókaros (vízszintes síkú)				
Henger koordinálás				
Gömbi koordinálás				



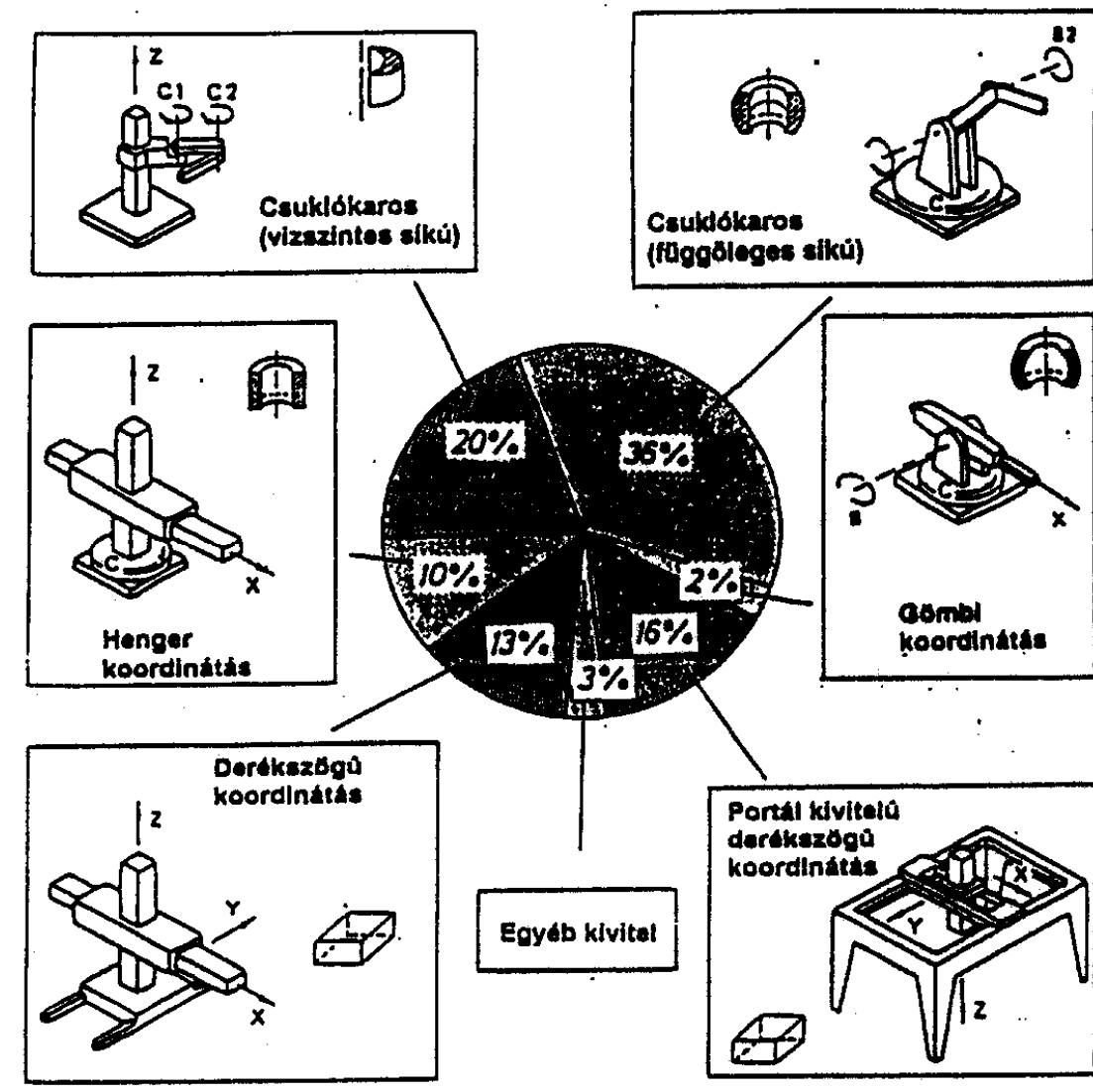
## **A fenti kombinációkból a**

- TTT (EEE),**
- RTT (FEE),**
- RRT (FFE),**
- RRR (FFF),**
- TRR (EFF)**

**változatok terjedtek el a gyakorlati alkalmazásban és alapvetően meghatározzák azokat a koordinátarendszereket, amelyek alapján a robotok csoportosíthatók. Mozgásaik által meghatározott koordinátarendszerek alapján az alábbi robot típusok vannak:**

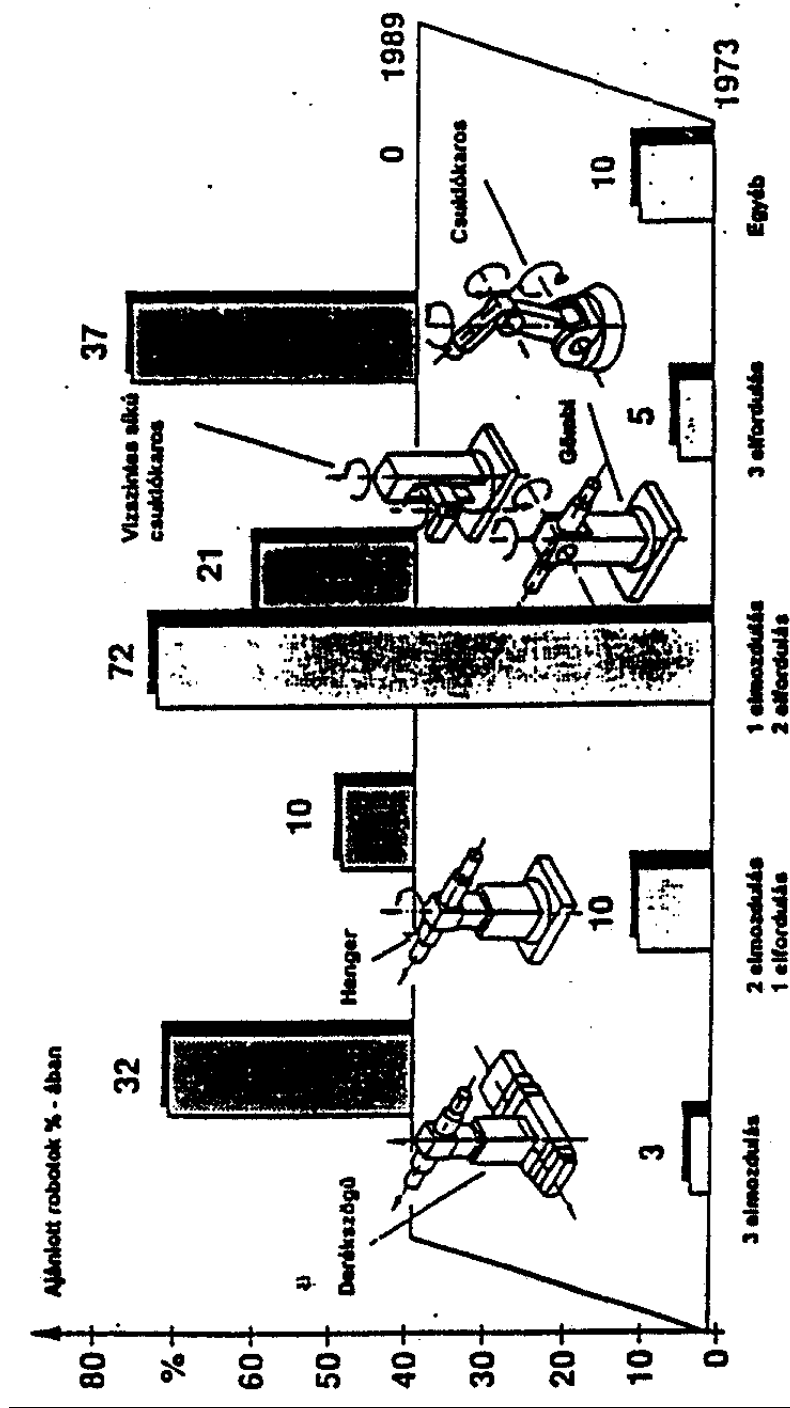
- derékszögû koordinátarendszerû (TTT),**
  - henger koordinátarendszerû (RTT),**
  - gömbi koordinátarendszerû (RRT),**
  - csuklókaros rendszerû**
    - függőleges síkú csuklókaros (RRR),**
    - vízszintes síkú csuklókaros (TRR),**
- amelyet a következő ábra mutat.**

**A robotok elvi felépítését és az alkalmazott csoportok százalékos megoszlását a következő ábrák mutatják.**





Gábor Dénes Főiskola





## 5. ROBOTOK FELÉPÍTÉSE

### 5. 1. ELVI FELÉPÍTÉS TIPIKUS MEGOLDÁSOK, SZERKEZETI KIALAKÍTÁS

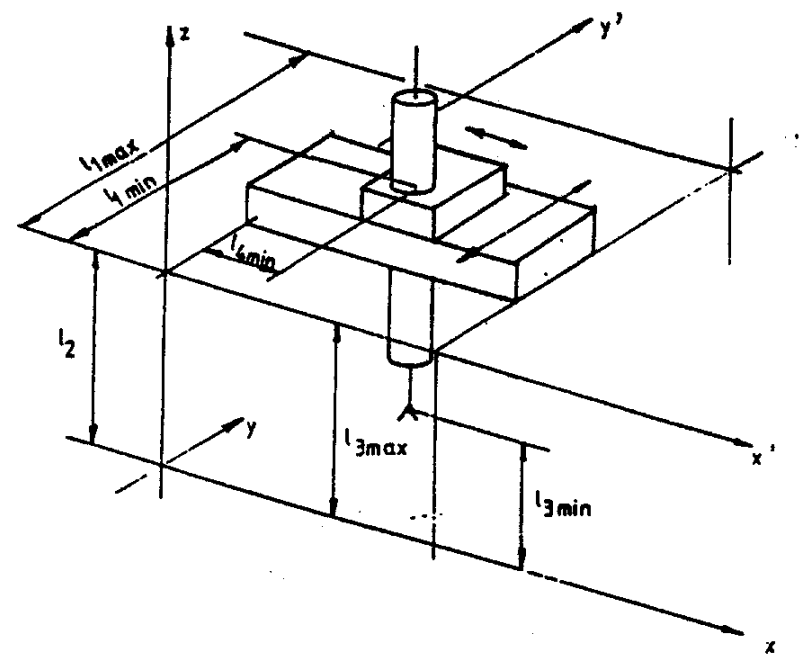
#### 5. 1. 1. Robotok trajektóriáinak leírása

##### a.) Derékszögű koordinátarendszerű robot

$$x = l_{4min} + s_{42}$$

$$y = l_{1min} + s_{21}$$

$$z = l_{3min} + s_{43}$$

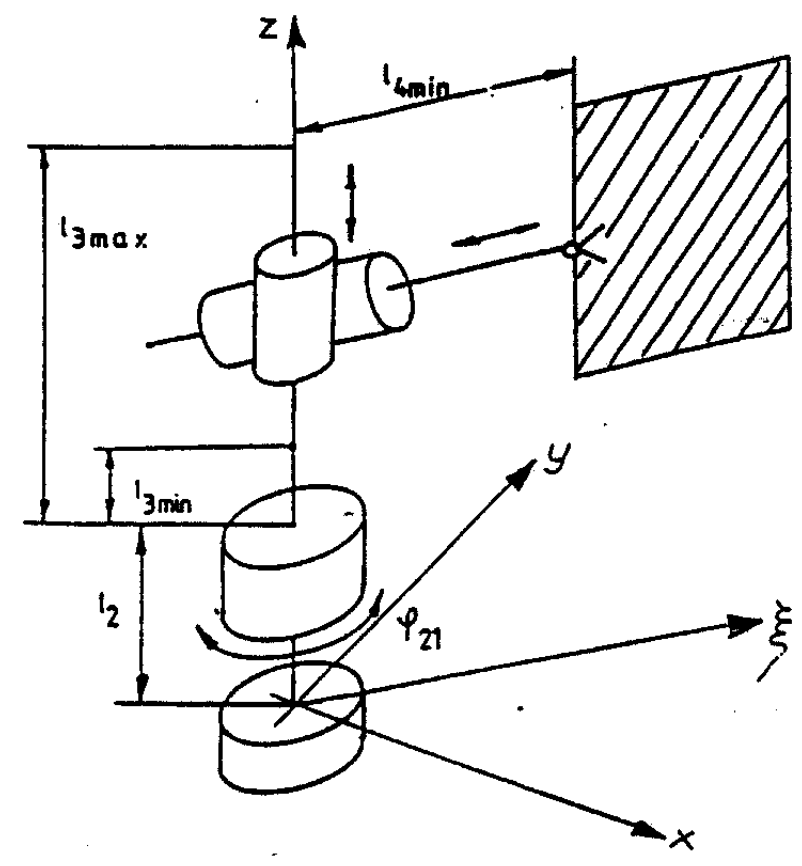




**b.) Henger koordinátarendszerű robot**

$$\xi = l_{4min} + s_{43}$$

$$z = l_2 + l_{3min} + s_{32}$$

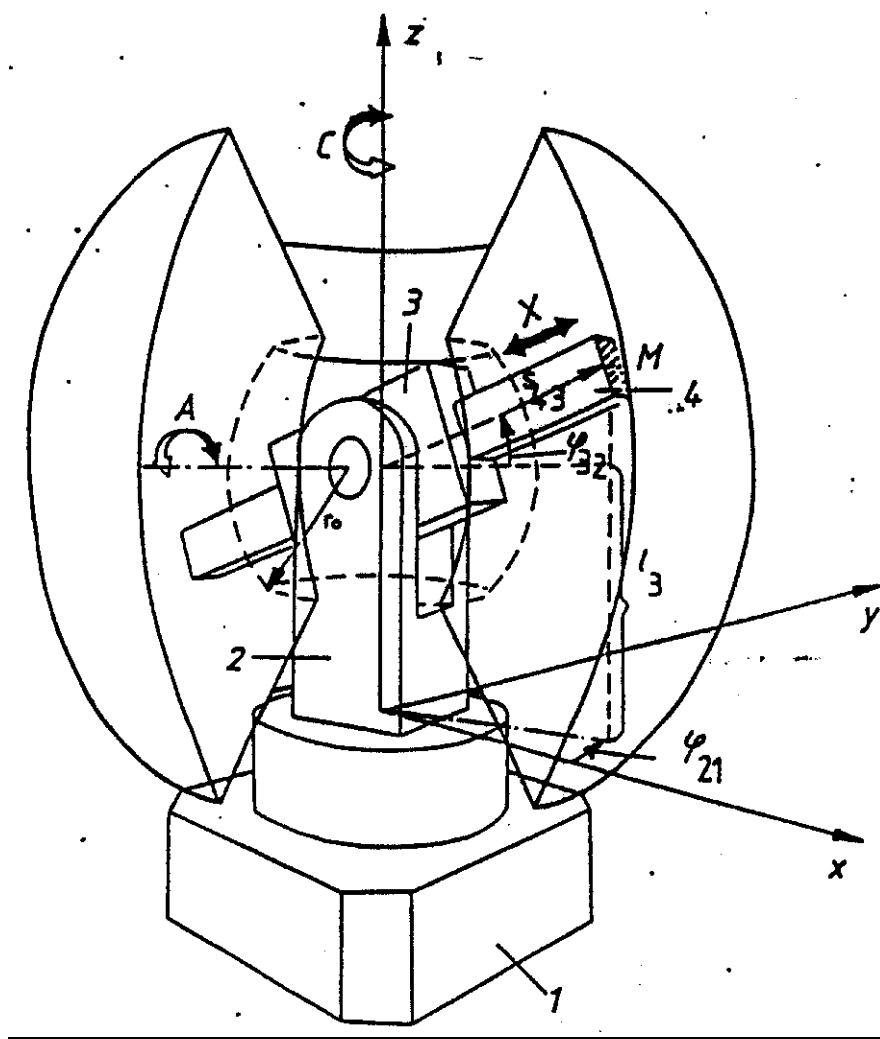




**c.) Gömbi koordinátarendszerű robot**

$$\xi = (l_4 + s_{43}) \cos \varphi_{32}$$

$$z = l_3 + (l_4 + s_{43}) \sin \varphi_{32}$$



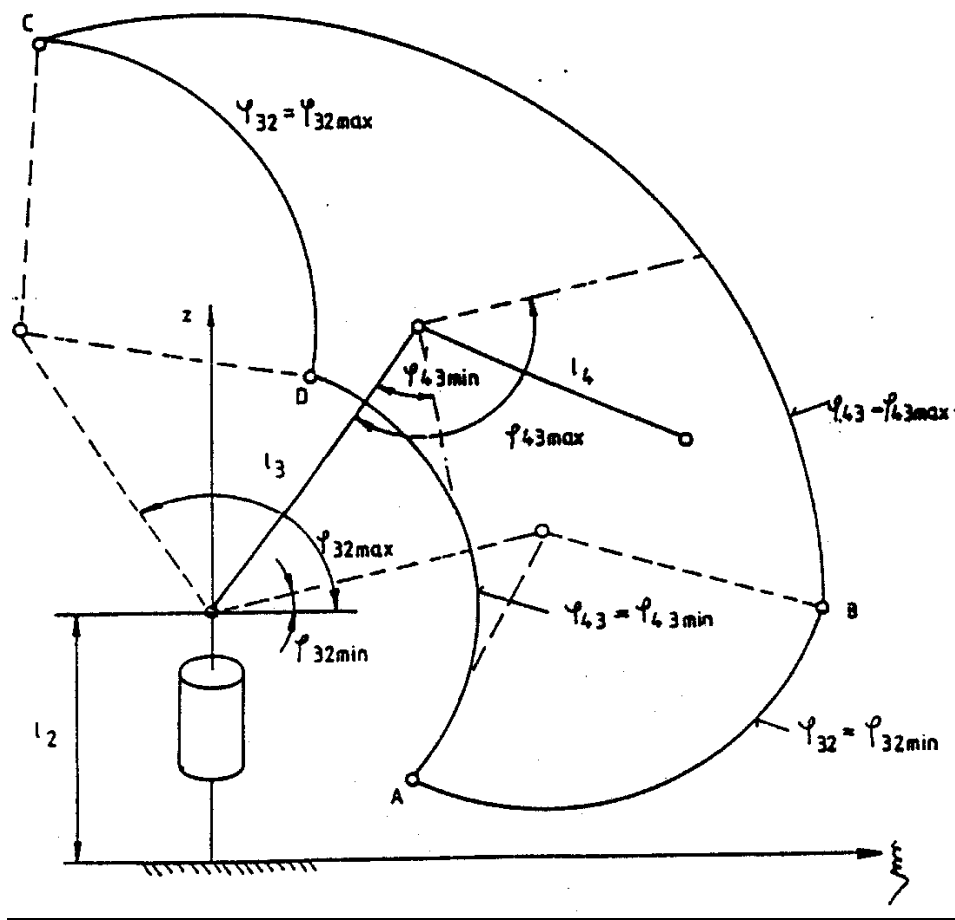




**d.) Függőleges síkú csuklókaros robot**

$$\xi = (l_3 - l_4 \cdot \cos \varphi_{43}) \cdot \cos \varphi_{32} + l_4 \cdot \sin \varphi_{43} \cdot \sin \varphi_{32}$$

$$z = l_2 + (l_3 - l_4 \cdot \cos \varphi_{43}) \cdot \sin \varphi_{32} - l_4 \cdot \sin \varphi_{43} \cdot \cos \varphi_{32}$$



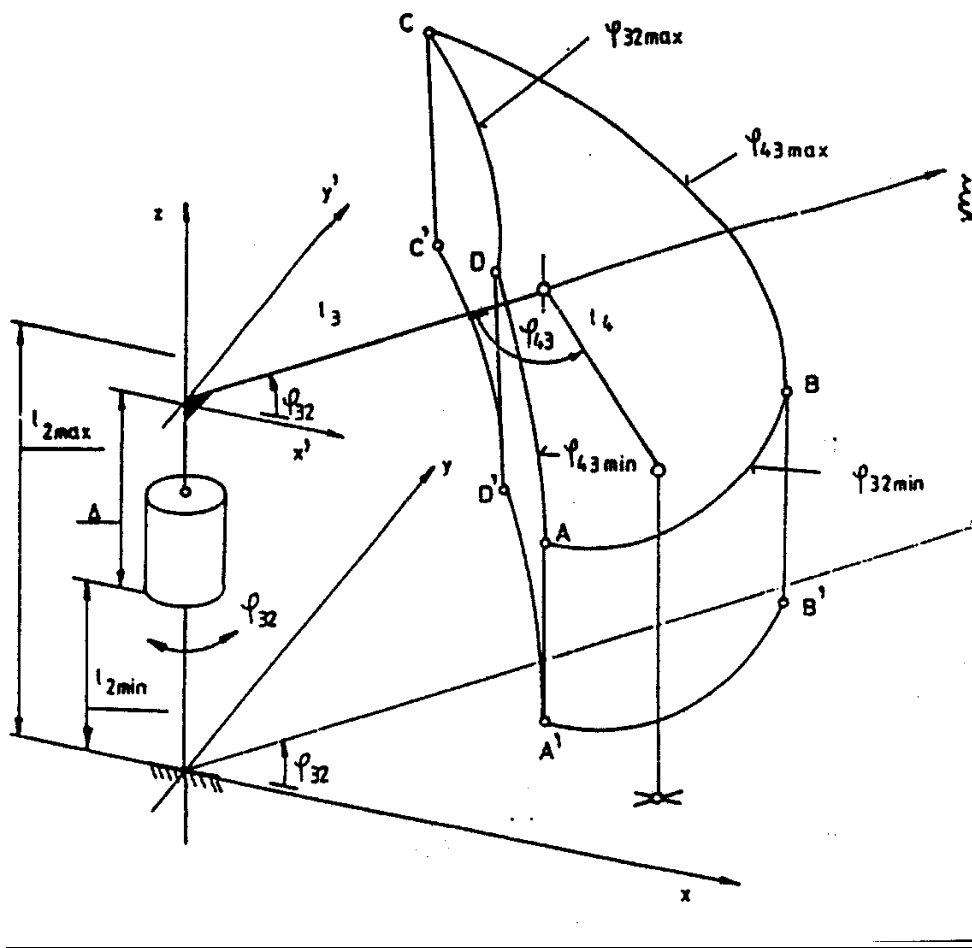


**e.) Vízszintes síkú csuklóskaros robot**

$$x = (l_3 - l_4 \cdot \cos \varphi_{43}) \cdot \cos \varphi_{32} + l_4 \cdot \sin \varphi_{43} \cdot \sin \varphi_{32}$$

$$y = (l_3 - l_4 \cdot \cos \varphi_{43}) \cdot \sin \varphi_{32} - l_4 \cdot \sin \varphi_{43} \cdot \cos \varphi_{32}$$

$$z = l_{2min} + S_{21}$$

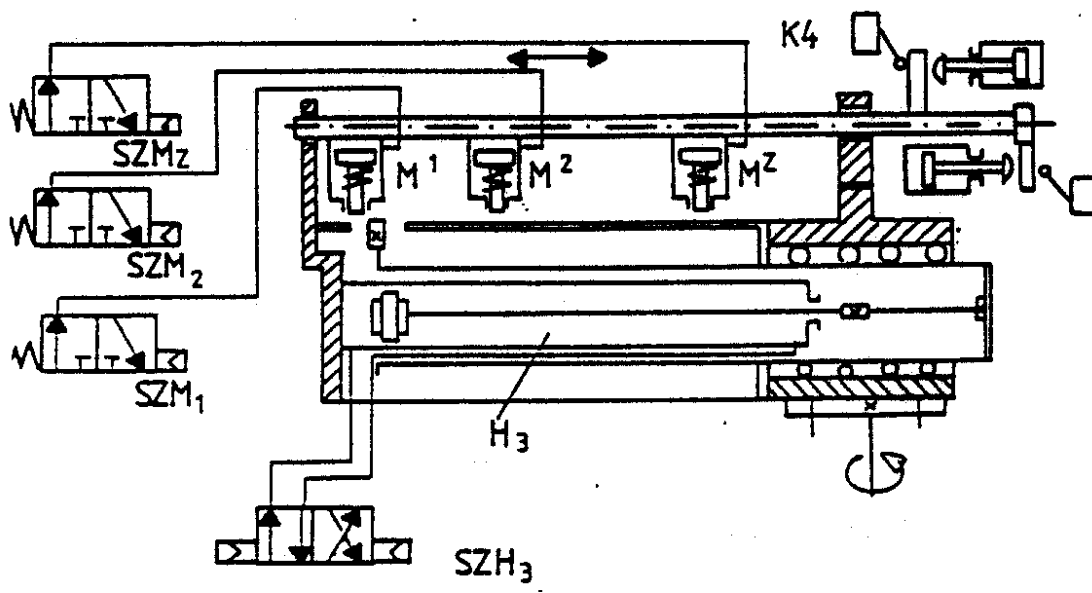




## 5. 1. 2. ROBOT HAJTÁSOK

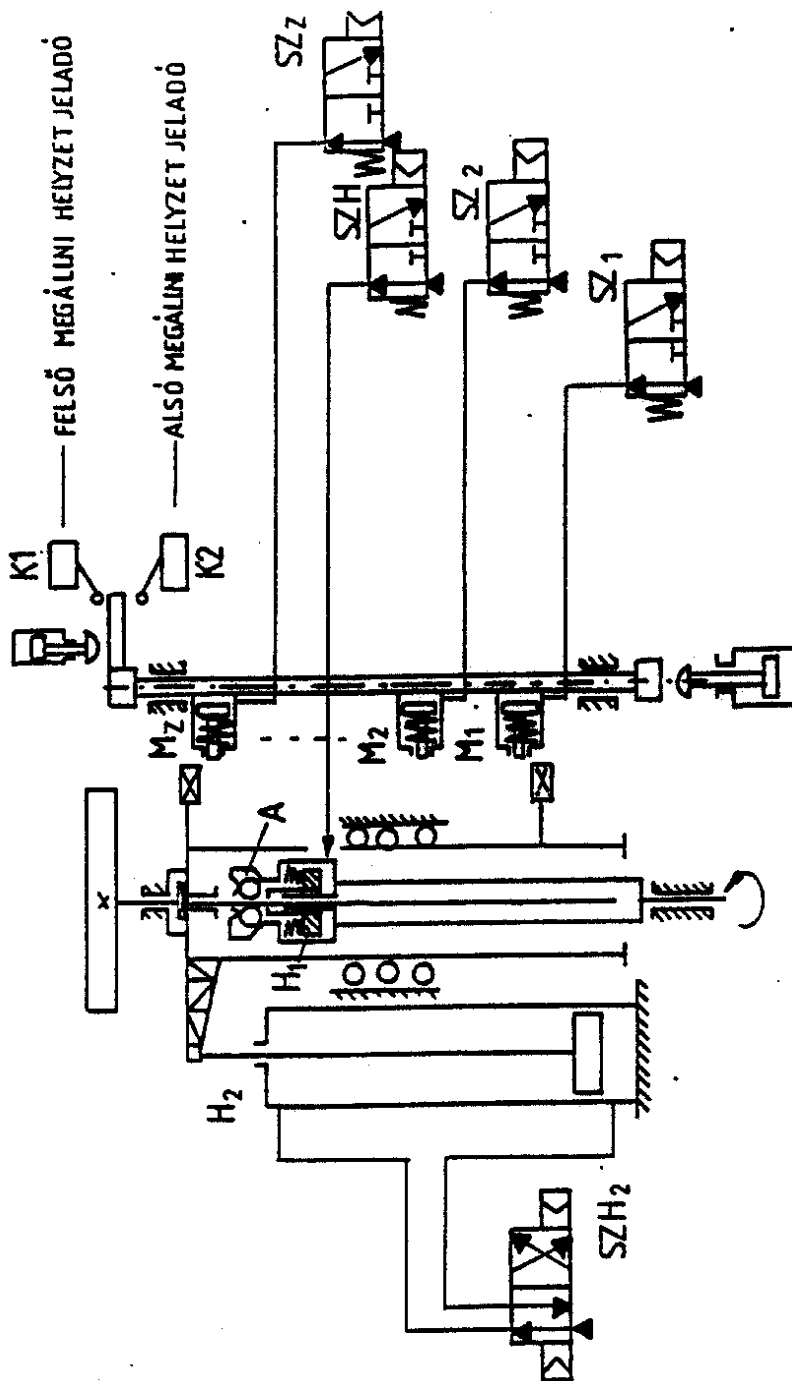
### a.) Pneumatikus lineáris hajtás

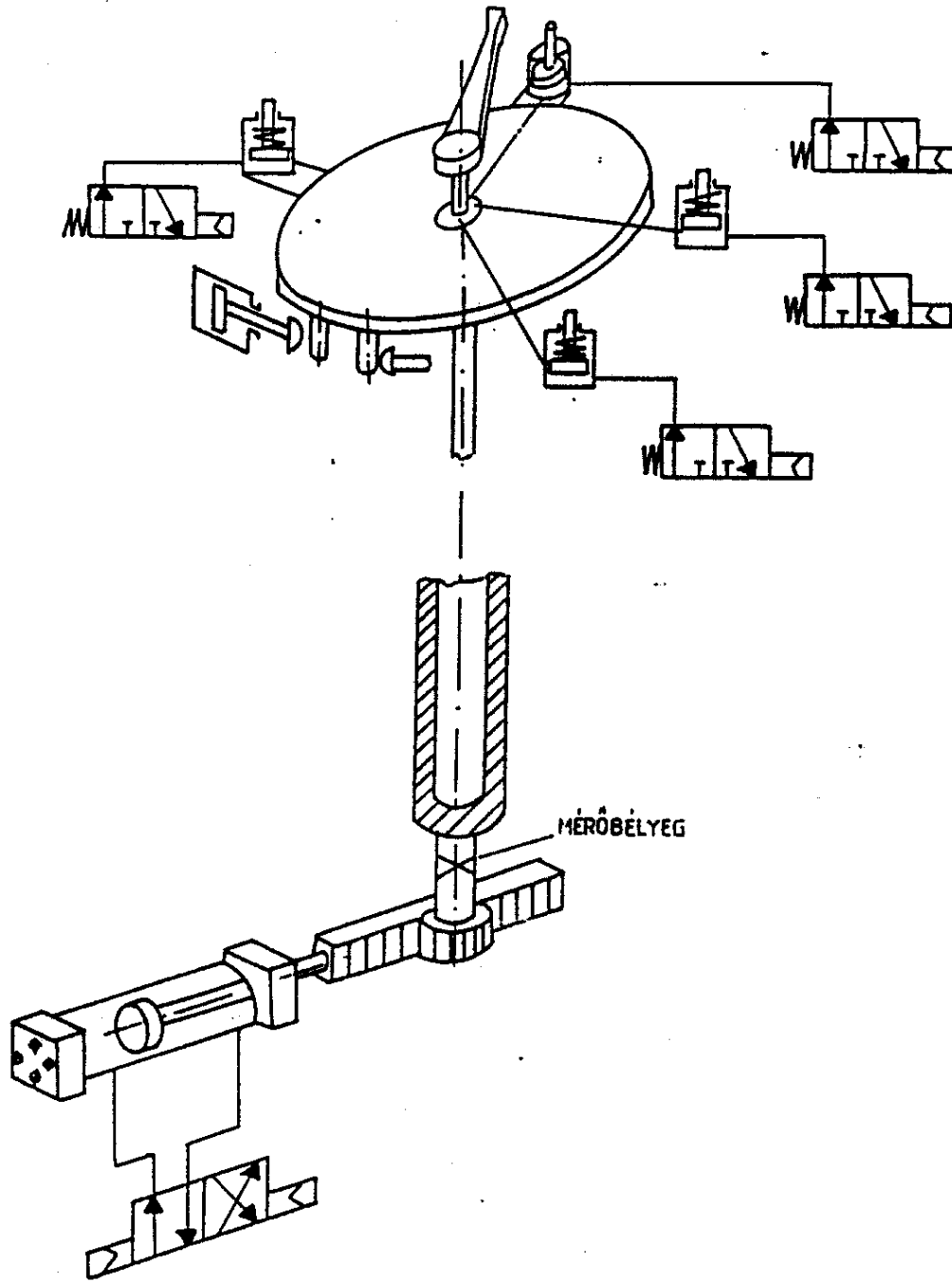
A robotpozíciókat a mozgó hengerek véghelyzetei, vagy programozott ütközők határozzák meg (ábrák).





Gábor Dénes Főiskola







## **b.) Hidraulikus hajtás**

### **b1.) Hidrosztatikus hajtás**

### **b2.) Hidraulikus szervohajtás**



### c.) Villamos hajtás

#### **c1.) Szabályozott egyenáramú hajtás, feszültség vagy áramszabályozás az armatúra körben**

- tárcsamotor
- normál kivitelű axiális elrendezésű motor

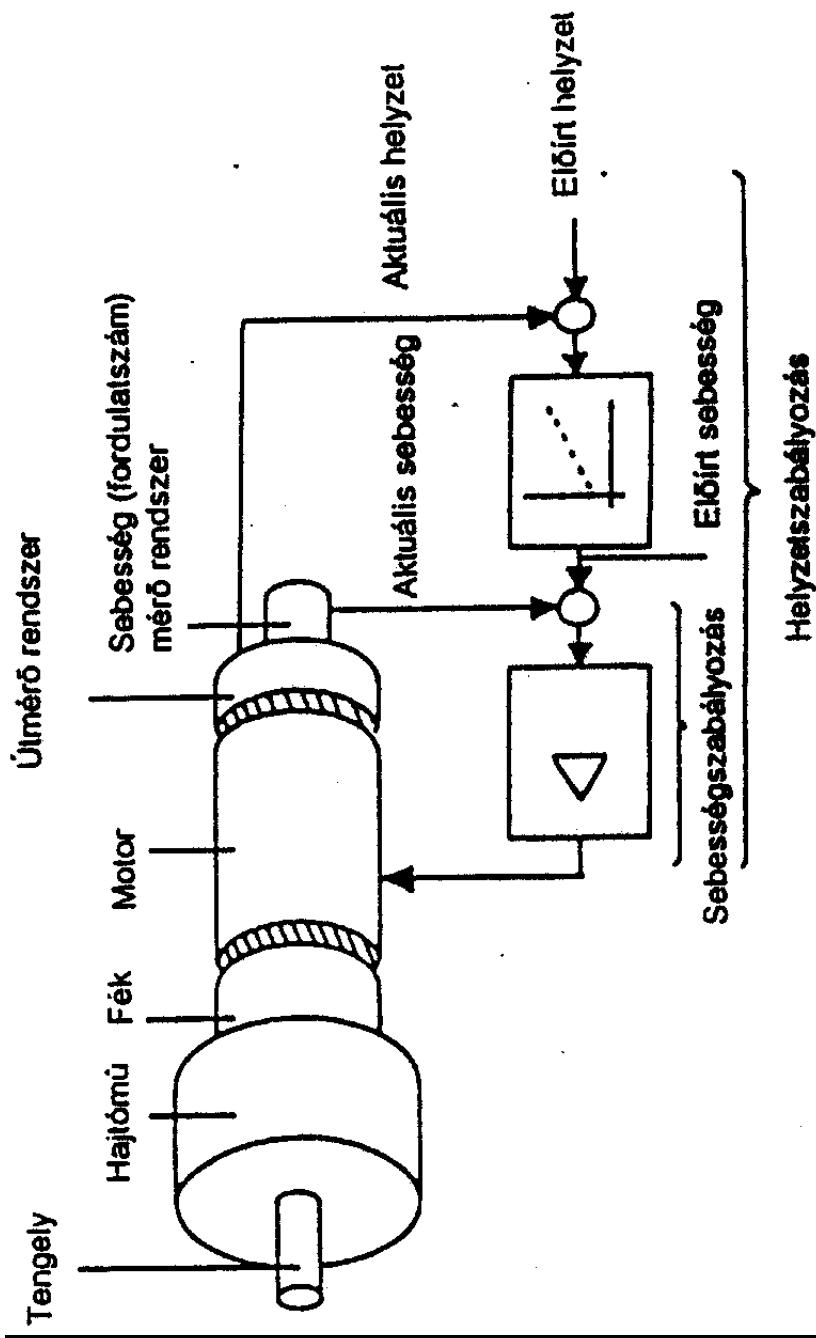
#### **Villamos alapegyenletek:**

$$U_a - U_i = R_a \cdot I_a + L_a \cdot \frac{dI_a}{dt}$$

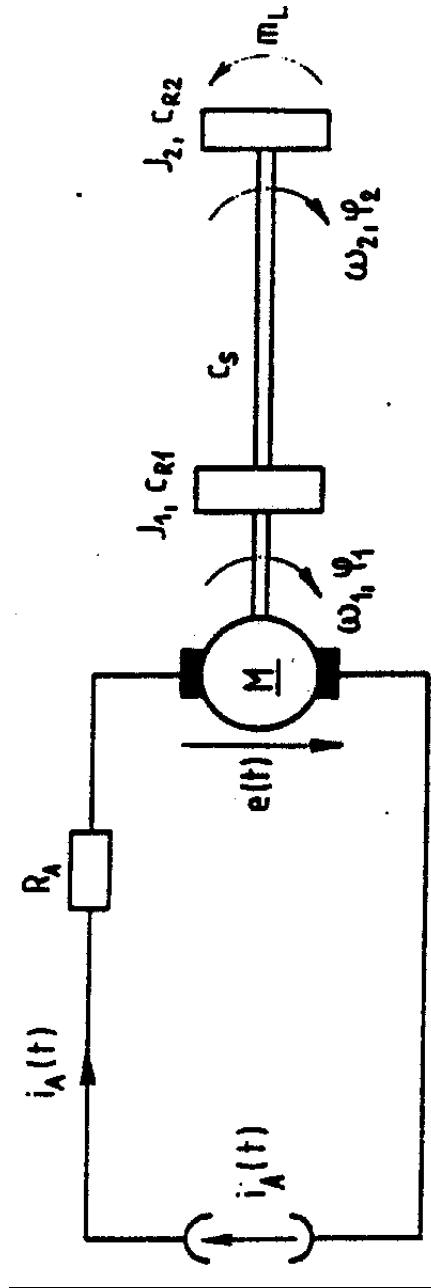
$$U_i = K_c \cdot I_g \cdot \omega$$

$$M = K_m \cdot I_a \cdot I_g$$

$$M = J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + C_v \frac{d\varphi}{dt} + M_t$$

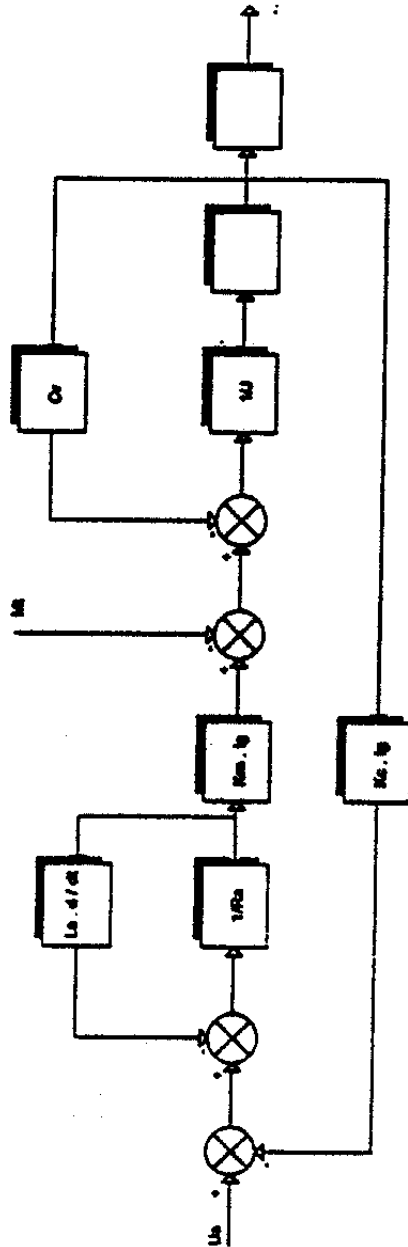






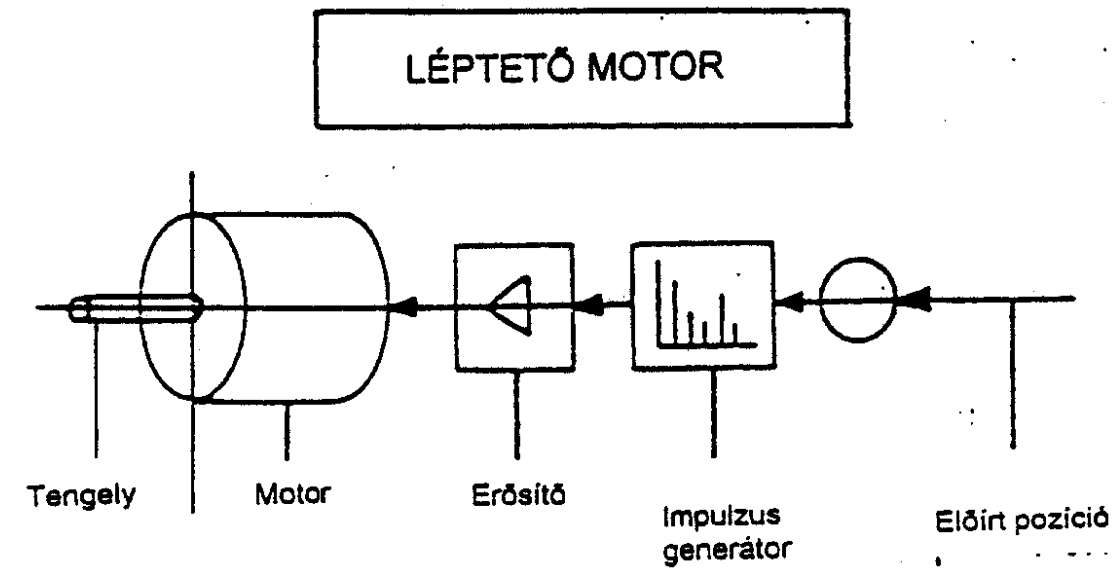


**EGYENÁRAMÚ MOTOR FUNKCIONÁLIS FELÉPÍTÉSE**





## c2.) Villamos léptető motorok



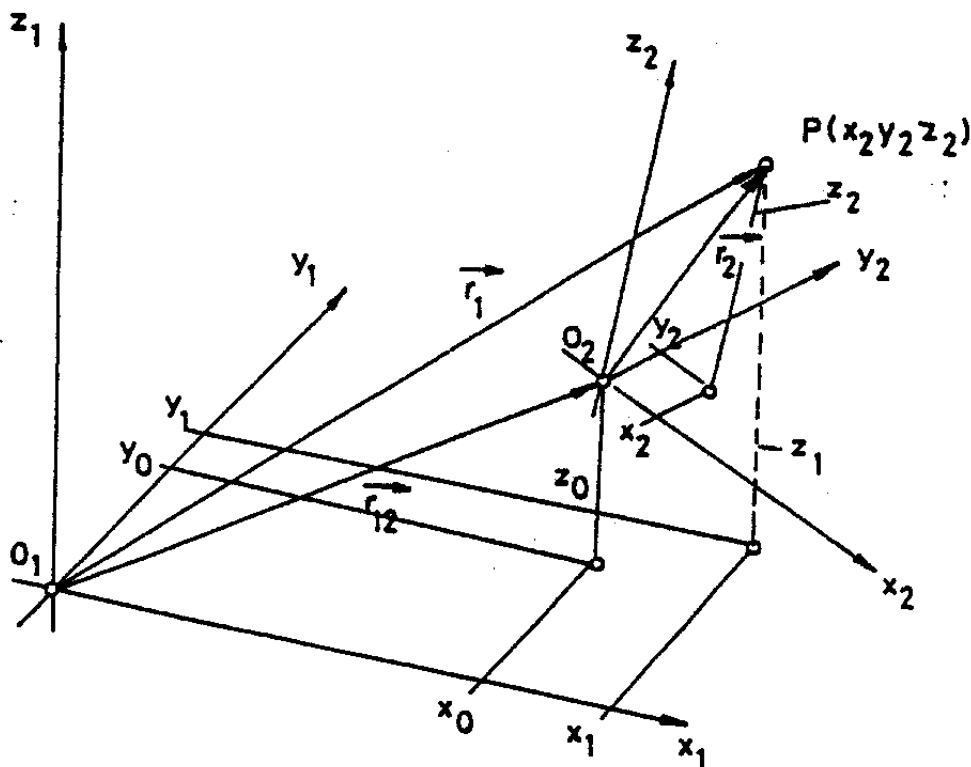


## 6. ROBOTOK IRÁNYÍTÁSA

### 6. 1. KOORDINÁTA TRANSZFORMÁCIÓK

#### 6. 1. 1. Általános térbeli transzformáció

Az ábra alapján az  $x_2; y_2; z_2$  koordinátarendszerben megadott  $P(x_2; y_2; z_2)$  pont az  $x_1; y_1; z_1$  koordinátarendszerbe az alábbi összefüggésekkel írható fel.





$$\mathbf{r}_1 = \mathbf{r}_{12} + \mathbf{r}_2$$

$$\mathbf{x}_1 = \mathbf{x}_0 + \mathbf{x}_2 \cos(\mathbf{x}_2; \mathbf{x}_1) + \mathbf{y}_2 \cos(\mathbf{y}_2; \mathbf{x}_1) + \mathbf{z}_2 \cos(\mathbf{z}_2; \mathbf{x}_1)$$

$$\mathbf{y}_1 = \mathbf{y}_0 + \mathbf{x}_2 \cos(\mathbf{x}_2; \mathbf{y}_1) + \mathbf{y}_2 \cos(\mathbf{y}_2; \mathbf{y}_1) + \mathbf{z}_2 \cos(\mathbf{z}_2; \mathbf{y}_1)$$

$$\mathbf{z}_1 = \mathbf{z}_0 + \mathbf{x}_2 \cos(\mathbf{x}_2; \mathbf{z}_1) + \mathbf{y}_2 \cos(\mathbf{y}_2; \mathbf{z}_1) + \mathbf{z}_2 \cos(\mathbf{z}_2; \mathbf{z}_1)$$

**A robotok felépítése a koordináta transzformációk szempontjából kissé egyszerűbb, ezért egy robothoz közeli transzformációs rendszert és koordinátákat szoktak alkalmazni. Annyi azonban látható, hogy az egyik koordinátarendszerből a másikba való transzformáció rotáció és transzláció együtteséből tevődik össze, amely egy mátrix egyenletbe összefoglalható.**

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{z}_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_0 \\ \mathbf{y}_0 \\ \mathbf{z}_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos(\mathbf{x}_2; \mathbf{x}_1) & \cos(\mathbf{y}_2; \mathbf{x}_1) & \cos(\mathbf{z}_2; \mathbf{x}_1) \\ \cos(\mathbf{x}_2; \mathbf{y}_1) & \cos(\mathbf{y}_2; \mathbf{y}_1) & \cos(\mathbf{z}_2; \mathbf{y}_1) \\ \cos(\mathbf{x}_2; \mathbf{z}_1) & \cos(\mathbf{y}_2; \mathbf{z}_1) & \cos(\mathbf{z}_2; \mathbf{z}_1) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{x}_2 \\ \mathbf{y}_2 \\ \mathbf{z}_2 \end{bmatrix}$$

$\mathbf{v}$  = eltolás  
vektor

$\mathbf{R}$  = forgatás  
mátrix



**A transzformáció egyetlen mátrixszal is felírható, ha egy kicsit kiegészítjük:**

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(x_2; x_1) & \cos(y_2; x_1) & \cos(z_2; x_1) & x_0 \\ \cos(x_2; y_1) & \cos(y_2; y_1) & \cos(z_2; y_1) & y_0 \\ \cos(x_2; z_1) & \cos(y_2; z_1) & \cos(z_2; z_1) & z_0 \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

**A kiegészített mátrixban lévő cél és eltolási koordinátákat homogén koordinátáknak nevezzük, amelyekkel**

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{v} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix},$$



ahol

$$\mathbf{DH} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{v} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

az ún. DENAVIT-HARTENBERG mátrix, amely a transzformációt elvégzi.

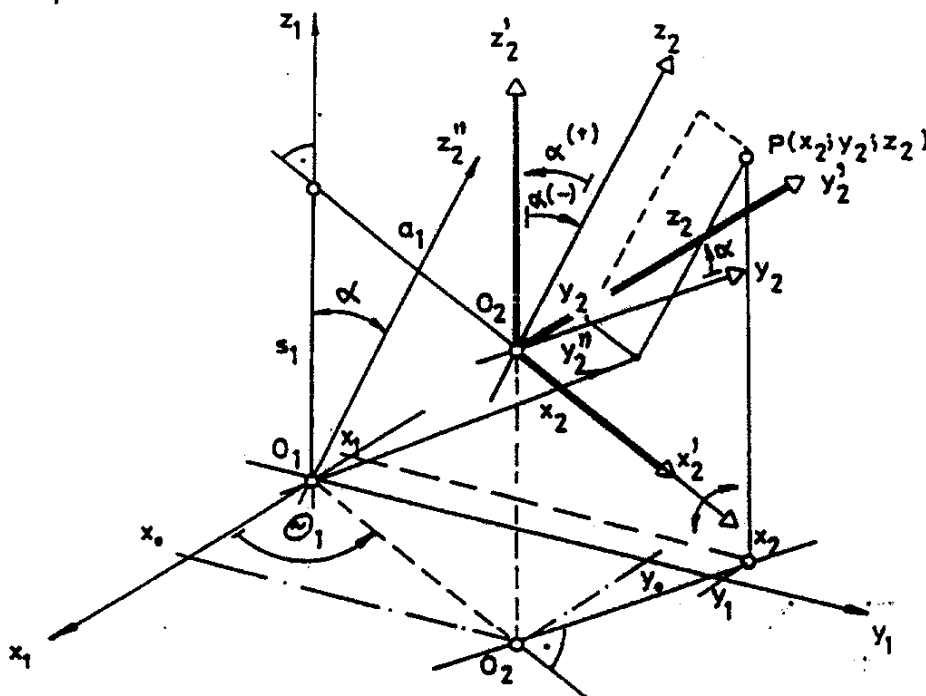
A robothoz közeli transzformációs rendszer (és koordináta-rendszer) egyszerűsíti az  $\mathbf{R}$  rotációs mátrixot. Az egyszerűsítés alapja, hogy a robotmechanizmusban szereplő kinematikai kényszerek általában egy szabadságfokúak.



### 6. 1. 2. Transzformáció kinematikai kötöttségek figyelembevételével

A transzformáció ez esetben a következő ábrán követhető végig az alábbi lépések szerint:

- eltolás  $a_1 \cos \theta_1$  mértékkel  $x_1$  irányban
- eltolás  $a_1 \sin \theta_1$  mértékkel  $y_1$  irányban
- eltolás  $s_1$  értékkel  $z_1$  irányban
- forgatás  $z_1$  tengely körül  $\theta_1$  szöggel
- forgatás  $x_2$  tengely körül  $\theta_2$  szöggel







## Forgatás $z_1$ tengely körül

$$\mathbf{R}_z = \begin{bmatrix} \cos\Theta_1 & -\sin\Theta_1 & 0 \\ \sin\Theta_1 & \cos\Theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## Forgatás $x_2$ tengely körül

$$\mathbf{R}_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha_1 & -\sin\alpha_1 \\ 0 & \sin\alpha_1 & \cos\alpha_1 \end{bmatrix}$$

**Forgatás együtt  $R_z \cdot R_x$ ;**

$$\underline{\underline{\mathbf{R}}} = \begin{bmatrix} \cos \Theta_1 & -\sin \Theta_1 \cos \alpha_1 & \sin \Theta_1 \sin \alpha_1 \\ \sin \Theta_1 & \cos \Theta_1 \cos \alpha_1 & -\cos \Theta_1 \sin \alpha_1 \\ 0 & \sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 \end{bmatrix}$$

**A kötöttségeket figyelembevéve  $\underline{\underline{\mathbf{R}}}$** 

$$\underline{\underline{\mathbf{R}}} = \begin{bmatrix} \cos \Theta_1 & -\sin \Theta_1 \cos \alpha_1 & \sin \Theta_1 \sin \alpha_1 \\ \sin \Theta_1 & \cos \Theta_1 \cos \alpha_1 & -\cos \Theta_1 \sin \alpha_1 \\ 0 & \sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 \end{bmatrix}$$

**az eltolás vektor  $\underline{\mathbf{y}}$** 

$$\underline{\mathbf{y}} = \begin{bmatrix} a_1 \cos \Theta_1 \\ a_1 \sin \Theta_1 \\ s_1 \end{bmatrix}$$



Ebből a DH mátrix

$$\underline{DH} = \begin{bmatrix} \cos \Theta_1 & -\sin \Theta_1 \cos \alpha_1 & \sin \Theta_1 \sin \alpha_1 & a_1 \cos \Theta_1 \\ \sin \Theta_1 & \cos \Theta_1 \cos \alpha_1 & -\cos \Theta_1 \sin \alpha_1 & a_1 \sin \Theta_1 \\ 0 & \sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 & s_1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Általánosságban is így építhetők fel a robot csuklóhoz rendelt koordinátarendszerek, ahol az i és i+1-edik koordinátarendszer közötti transzformációt a

$$\mathbf{T}_{i,i+1} = \mathbf{DH}_{i,i+1} =$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \Theta_i & -\sin \Theta_i \cos \alpha_i & \sin \Theta_i \sin \alpha_i & a_i \cos \Theta_i \\ \sin \Theta_i & \cos \Theta_i \cos \alpha_i & -\cos \Theta_i \sin \alpha_i & a_i \sin \Theta_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & s_i \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

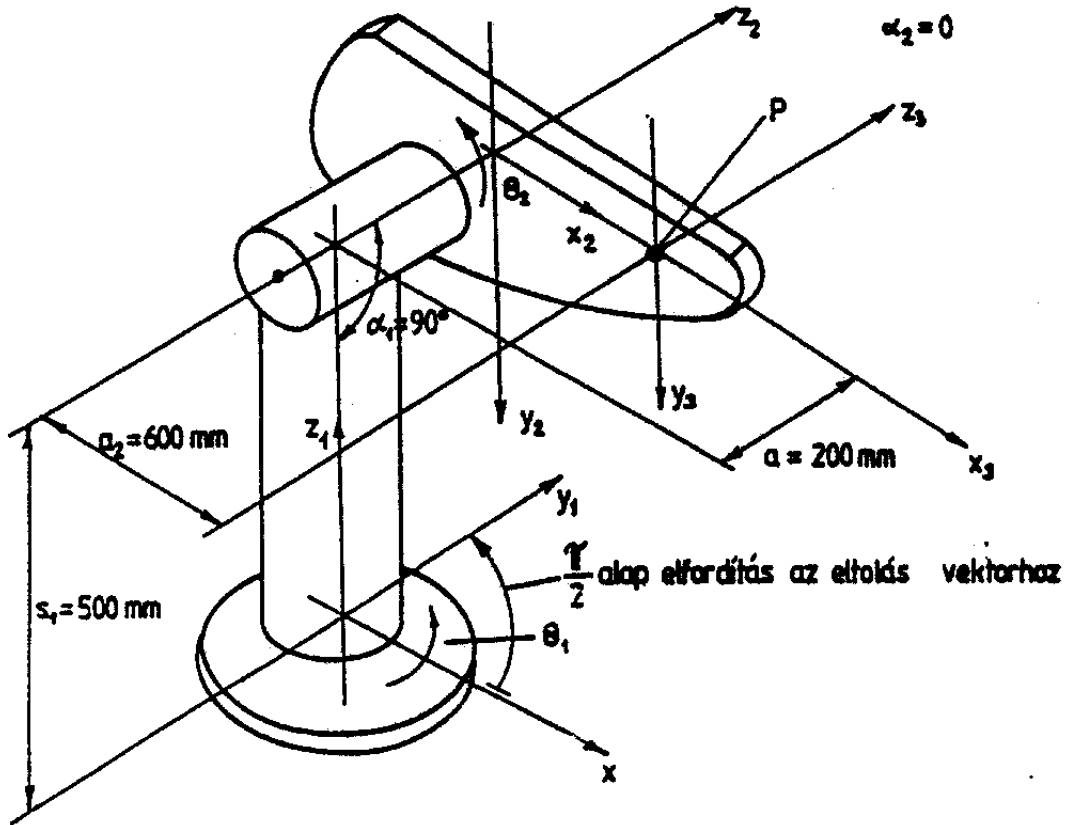


### **6. 1. 3. Számpélda koordináta transzformációkra**

**a.) Határozzuk meg az ábrán vázolt robotkar  $P_3$  pontjának helyzetét  $\rightarrow_1 = e_{r21}$  és  $\rightarrow_2 = e_{r32}$  szögelfordulások esetén az ábrán vázolt  $x_1; y_1; z_1$  robotkoordinátarendszerben**

**a1.) A  $P_3$  pont az  $x_3, y_3; z_3$  koordinátarendszer origójában helyezkedik el,**

**a2.) A  $P_3$  pont az  $x_3, y_3; z_3$  koordinátarendszerben  $x_3 = a_2$  pontjában helyezkedik el  $P_3 \{a_2; 0; 0\}$**





## A DH mátrix általános esetben

$$DH_{12} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_1 & -\sin \Theta_1 \cos \alpha_1 & \sin \Theta_1 \sin \alpha_1 & a_1 \cos \Theta_1 \\ \sin \Theta_1 & \cos \Theta_1 \cos \alpha_1 & -\cos \Theta_1 \sin \alpha_1 & a_1 \sin \Theta_1 \\ 0 & \sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 & s_1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$\Theta_1 = 90^\circ$ , és a felépítést figyelembe véve:

$$DH_{12} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_1 & 0 & \sin \Theta_1 & a_1 \cos \left( \frac{\pi}{2} + \Theta_1 \right) \\ \sin \Theta_1 & 0 & -\cos \Theta_1 & a_1 \sin \left( \frac{\pi}{2} + \Theta_1 \right) \\ 0 & 1 & 0 & s_1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$



$$s_2 = 0$$

$$\Theta_2 = 0$$

$$DH_{23} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_2 & -\sin \Theta_2 & 0 & a_2 \cos \Theta_2 \\ \sin \Theta_2 & \cos \Theta_2 & 0 & a_2 \sin \Theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$DH_{12;23} = DH_{12} \cdot DH_{23}$$

$$DH_{12;23} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_1 \cos \Theta_2 & -\cos \Theta_1 \sin \Theta_2 & \sin \Theta_1 & a_2 \cos \Theta_2 \cos \Theta_1 + a_1 \cos \left( \frac{\pi}{2} + \Theta_1 \right) \\ \sin \Theta_1 \cos \Theta_2 & -\sin \Theta_1 \sin \Theta_2 & -\cos \Theta_1 & a_2 \cos \Theta_2 \sin \Theta_1 + a_1 \sin \left( \frac{\pi}{2} + \Theta_1 \right) \\ \sin \Theta_2 & \cos \Theta_2 & 0 & s_1 + a_2 \sin \Theta_2 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right];$$



$$\mathbf{P}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$



**ALAPHELYZET**(Az ábrán vázolt helyzet  $\Theta_1 = 0^\circ$ ;  $\Theta_2 = 0^\circ$ )

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{z}_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \mathbf{a}_2 \\ 0 & 0 & -1 & \mathbf{a}_1 \\ 0 & 1 & 0 & \mathbf{s}_1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

**Elvégezve a szorzást:**

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{z}_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{s}_1 \\ 1 \end{bmatrix}$$



## TETSZŐLEGES HELYZET

$(\Theta_1 = \pi; \Theta_2 = \frac{\pi}{2})$  esetén a DH mátrix

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{z}_1 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{-1} & \mathbf{-a}_1 \\ \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{s}_1 + \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

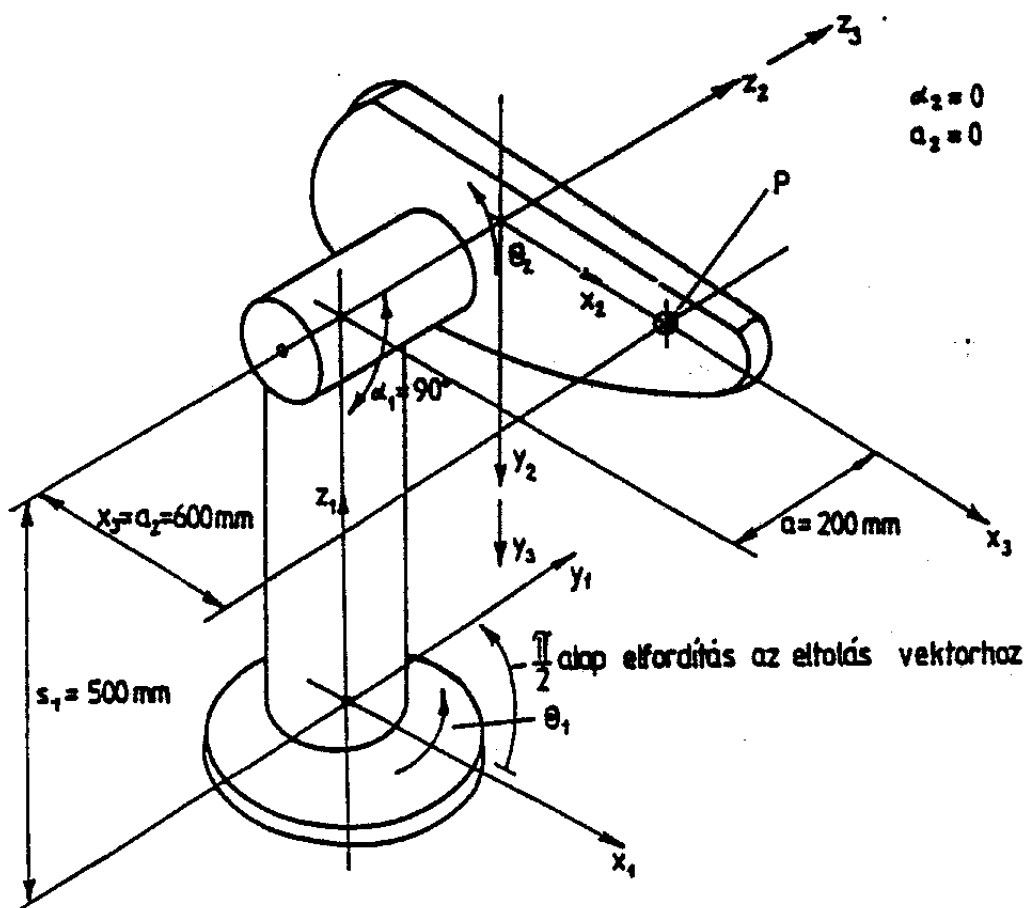
Elvégezve a szorzást:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{z}_1 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{-a}_1 \\ \mathbf{s}_1 + \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix}$$



**Robotkar részlet, ha a 3 jelű koordinátarendszert a 2 koordinátarendszer kezdőpontjában helyezük el.**

$$\bar{P}_3 = \begin{bmatrix} a_2 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$





Az ábrán vázolt adatok alapján a **DH** mátrix az előzőekhez képest az alábbiak szerint változik, illetve módosul az  $x_3$ ;  $y_3$ ;  $z_3$  koordinátarendszerben  $P(x_3; y_3; z_3)$  is.

$$\Theta_1 = 90^\circ$$

$$\mathbf{DH}_{12} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_1 & 0 & \sin \Theta_1 & a_1 \cos \left( \frac{\pi}{2} + \Theta_1 \right) \\ \sin \Theta_1 & 0 & -\cos \Theta_1 & a_1 \sin \left( \frac{\pi}{2} + \Theta_1 \right) \\ 0 & 1 & 0 & s_1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$



$$s_2 = 0$$

$$a_2 = 0$$

$$\Theta_2 = 0$$

$$\mathbf{DH}_{23} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_2 & -\sin \Theta_2 & 0 & 0 \\ \sin \Theta_2 & \cos \Theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$\underline{\mathbf{DH}} = \underline{\mathbf{DH}}_{12} \cdot \underline{\mathbf{DH}}_{23} =$$

$$= \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_1 \cos \Theta_2 & -\cos \Theta_1 \sin \Theta_2 & \sin \Theta_1 & a_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} + \Theta_1\right) \\ \sin \Theta_1 \cos \Theta_2 & -\sin \Theta_1 \sin \Theta_2 & -\cos \Theta_1 & a_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} + \Theta_1\right) \\ \sin \Theta_2 & \cos \Theta_2 & 0 & s_1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right];$$



## ALAPHELYZET

(  $\Theta_1 = 0$ ;  $\Theta_2 = 0$  az ábrán vázolt helyzet)

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{z}_1 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{-1} & \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{s}_1 \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

Elvégezve a szorzást:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{z}_1 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{s}_1 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix}$$



## TETSZŐLEGES HELYZET

$(\Theta_1 = \pi; \Theta_2 = \frac{\pi}{2})$  esetén a DH mátrix

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{z}_1 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{-1} & \mathbf{-a}_1 \\ \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{s}_1 \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{1} \end{bmatrix}$$

Elvégezve a szorzást:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{x}_1 \\ \mathbf{y}_1 \\ \mathbf{z}_1 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{-a}_1 \\ \mathbf{s}_1 + \mathbf{a}_2 \\ \mathbf{1} \end{bmatrix}$$



**b.) Határozzuk meg az előzőekben használt módszer inverz feladata alapján, hogy a robotkar P<sub>3</sub> pontja - az ábrán vázolt  $\rightarrow_1 = 0$  és  $\rightarrow_2 = 0$  állapotot feltételezve - milyen szögelfordulások megtétele után ( $\rightarrow_1; \rightarrow_2$ ) jut el a P<sub>3</sub>(x<sub>1</sub>; y<sub>1</sub>; z<sub>1</sub>) pontba, ha**

$$\begin{aligned}x_1 &= 0 \\y_1 &= -200; \\z_1 &= 1100,\end{aligned}$$

**A mátrix szorzás elvégzésével**

$$x_1 = a_2 \cos \Theta_2 \cos \Theta_1 + a_1 \cos \left( \frac{\pi}{2} + \Theta_1 \right)$$

$$y_1 = a_2 \cos \Theta_2 \sin \Theta_1 + a_1 \sin \left( \frac{\pi}{2} + \Theta_1 \right)$$

$$z_1 = s_1 + a_2 \sin \Theta_2$$





$$\sin \Theta_2 = \frac{z_1 - s_1}{a_2} = \frac{1100 - 500}{600} = 1$$

$$\Theta_2 = \frac{\pi}{2}$$

$$\cos \Theta_2 = 0$$

$$x_1 = a_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} + \Theta_1\right)$$

$$y_1 = a_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} + \Theta_1\right)$$

$$0 = \cos\left(\frac{\pi}{2} + \Theta_1\right)$$

$$\Theta_1 = \pi; \quad -\pi$$

$$\frac{y_1}{a_1} = -1 = \sin\left(\frac{\pi}{2} + \Theta_1\right)$$

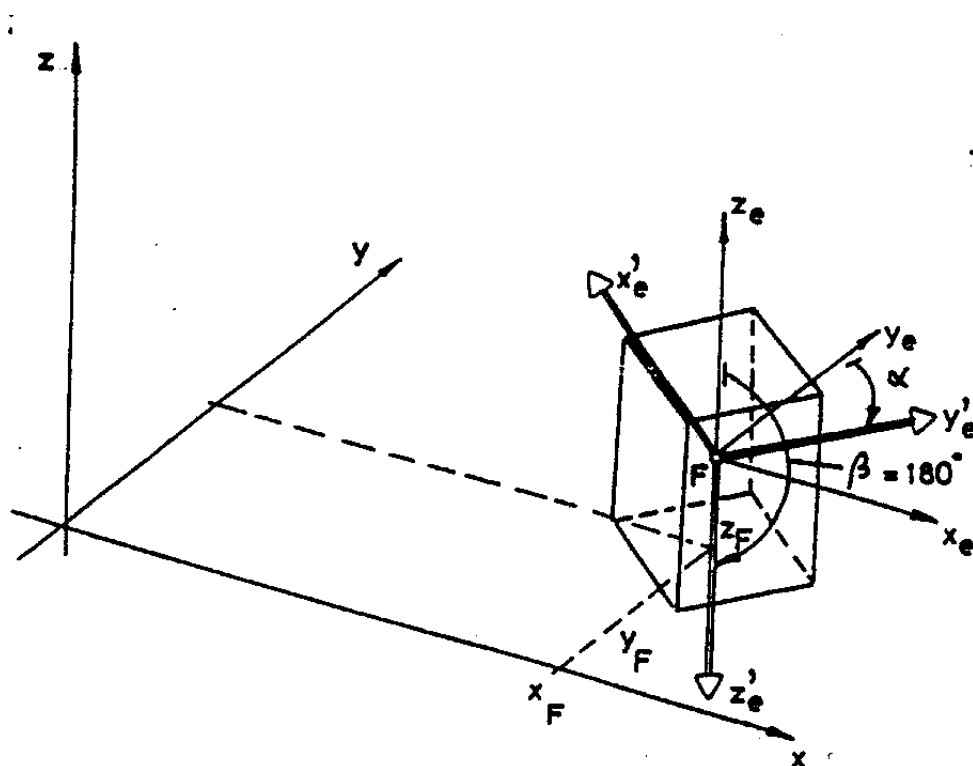
$$\Theta_1 = \pi; \quad -\pi$$

---



## 6. 2. ROBOTMEGFOGÓK ORIENTÁCIÓJA

Az orientáció számításának alapja a munkadarab-frame, amelyet a következő ábra alapján ábrázolhatunk az  $x_e$ ,  $y_e$  és  $z_e$  koordinátarendszerben homogén koordinátákkal.





$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \mathbf{x}_F \\ 0 & 1 & 0 & \mathbf{y}_F \\ 0 & 0 & 1 & \mathbf{z}_F \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

**eltolás      ye-tengely körüli      ze-tengely körüli**  
**forrotás      forrotás**

**amelyből a szorzásokat elvégezve**

$$\underline{\underline{\mathbf{F}}} = \begin{bmatrix} -\cos \alpha & \sin \alpha & 0 & \mathbf{x}_F \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & \mathbf{y}_F \\ 0 & 0 & -1 & \mathbf{z}_F \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



mátrixot kapjuk, amelynek első oszlopa az  $x_e$ , a második az  $y_e$ , a harmadik pedig  $z_e$  tengely irányát határozza meg. Ebbe a koordinátarendszerbe kell a robot megfogónak illeszkedni a munkadarab megfogásához. A munkadarabhoz illesztett megfogó alapján meghatározható a megfogási állapotban szükséges megfogórobotkar csatlakozási pont. A következő ábra alapján - mivel a csatlakozási  $\underline{P}$  pont a  $z_e$  tengelyen helyezkedik el - a módosított eltolási vektor:

$$\underline{r}^* = \underline{r} - [0; 0; -1; 0] \cdot k = [x_F; y_F; (z_F + k); 1],$$

amelyet  $\underline{\underline{F}}$  utolsó oszlopába helyettesítve

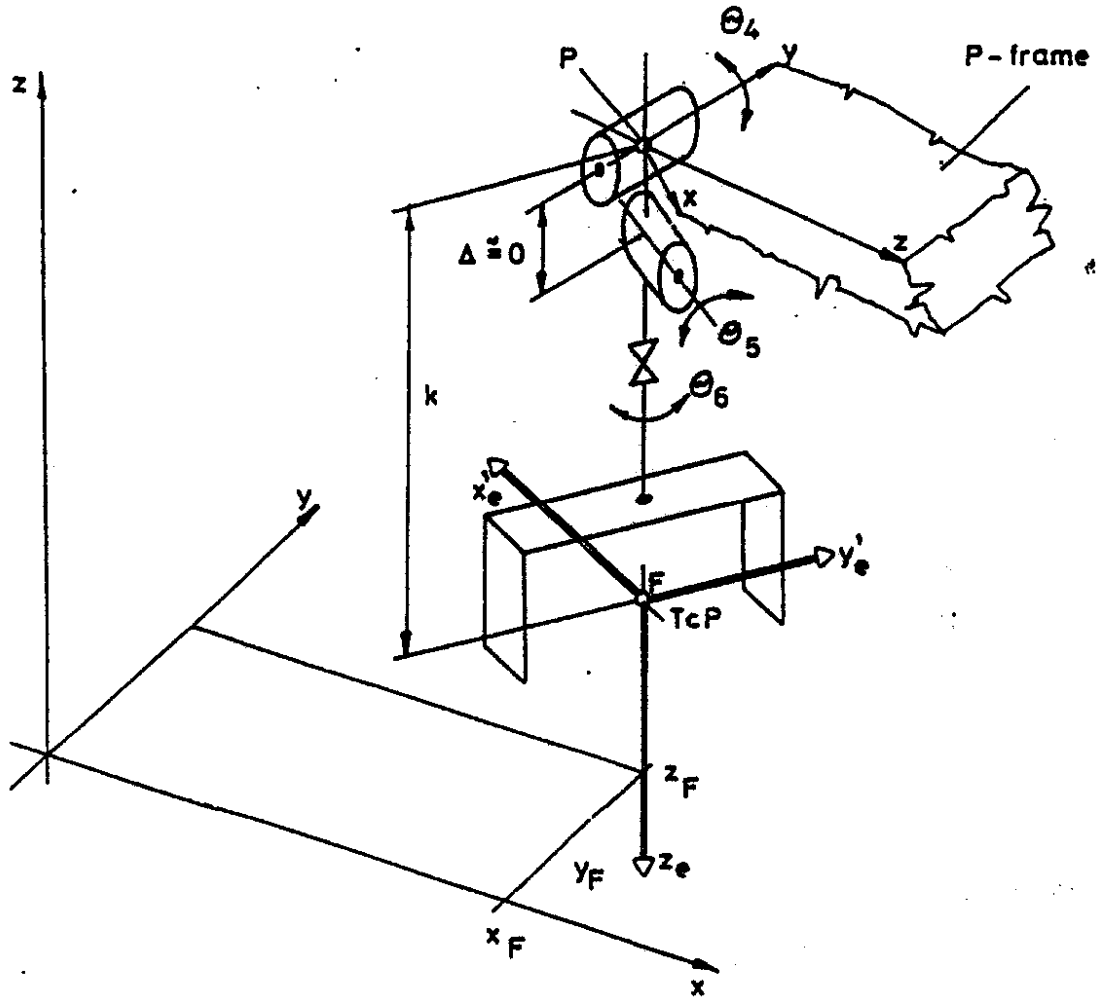
$$\underline{\underline{F}}^* = \left[ \begin{array}{ccc|c} -\cos \alpha & \sin \alpha & 0 & x_F \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & y_F \\ 0 & 0 & -1 & z_F + k \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

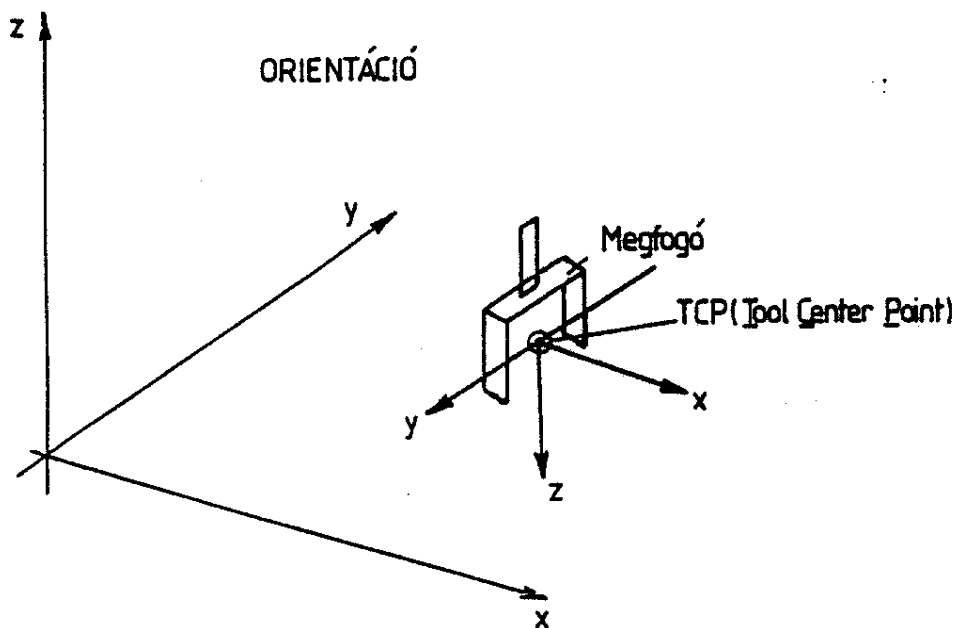
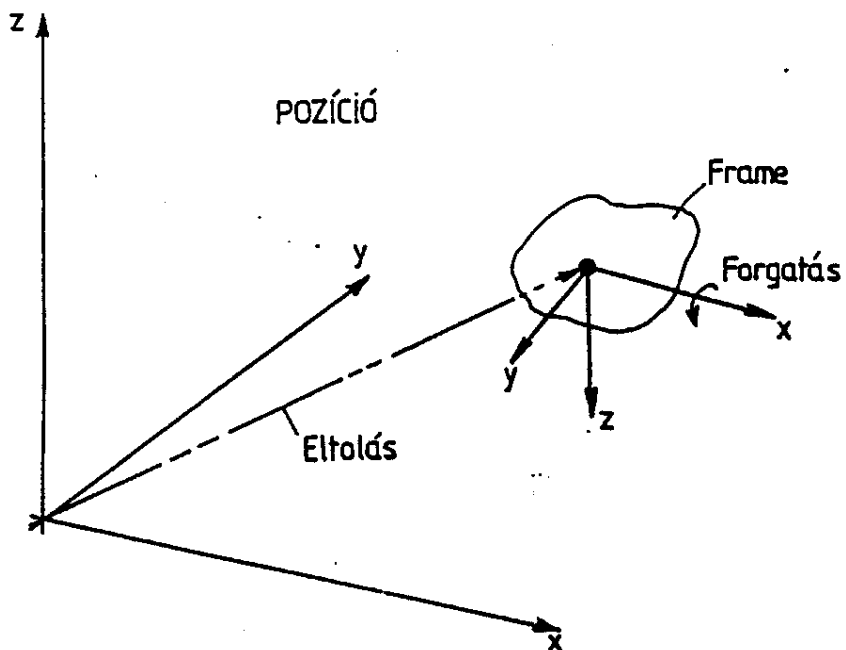


mátrixot kapjuk, amely a robotkaron lévő megfogó illeszkedési  $\underline{P}$  pontban adja meg a megfogó irányított-ságát  $\underline{F}^*$ -frame-jét.

A robotkarok helyzetét meghatározó  $\epsilon_{21}=\rightarrow 1$ ,  $\epsilon_{32}=\rightarrow 2$  és  $\epsilon_{43}=\rightarrow 3$  szögkoordináták az  $\underline{F}$ -frame-ből számított  $\underline{P}$  pont alapján a 2. pontban ismertetett módszerekkel meghatározhatók.

A  $\underline{P}$  ponthoz rendelt  $\underline{P}$ -frame-nek az ugyancsak  $\underline{P}$  pontban értelmezett  $\underline{F}^*$ -frame-be való forgatásával - az ábrán láthatóan - előállíthatók a  $\epsilon_{54}=\rightarrow 4$ ;  $\epsilon_{65}=\rightarrow 5$  és  $\epsilon_{76}=\rightarrow 6$  szögkoordináták.

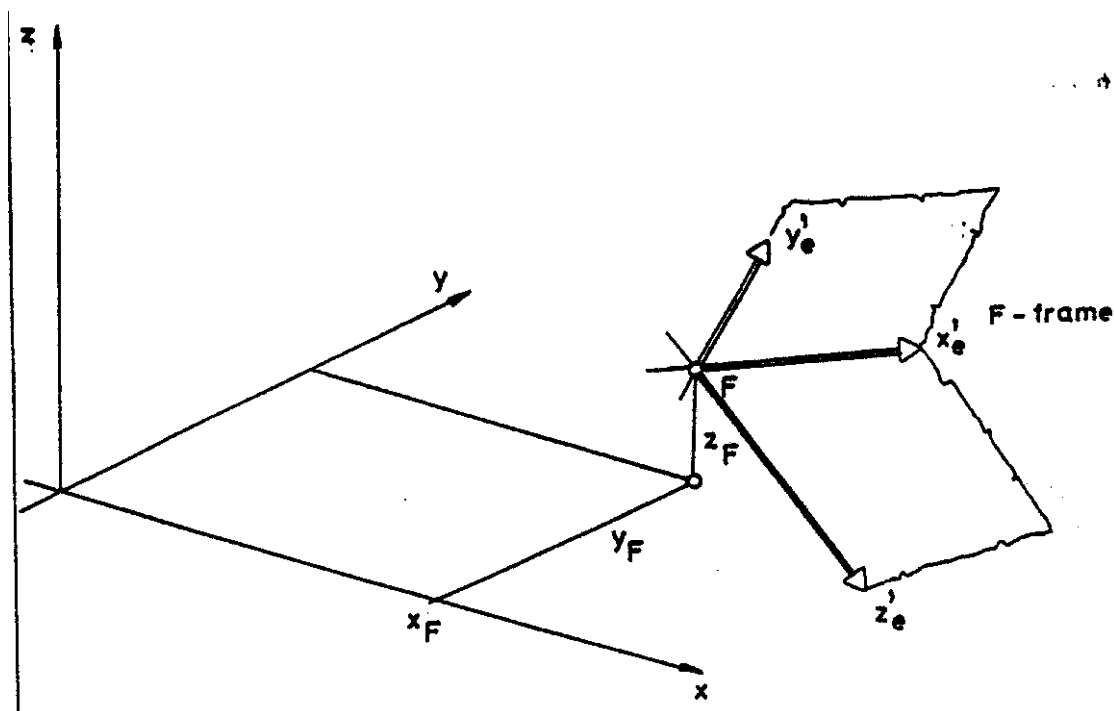




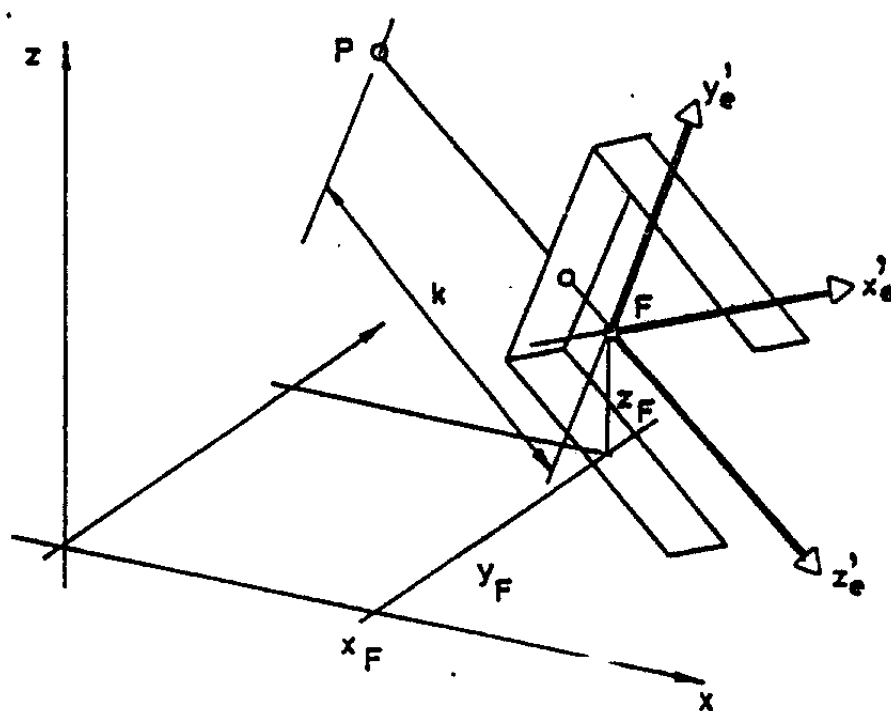


**Az orientációs mozgás meghatározásának menete tehát az alábbiakban foglalható össze:**

- 1. lépés:** Az ábra alapján meghatározandó a manipuláció F-frame-je.
- 2. lépés:** Az F-frame alapján és a megfogó geometriai mérete P pont meghatározása.
- 3. lépés:** A P pont ismeretében az alapmozgás  $\sigma_{21} \Rightarrow \rightarrow 1$ ;  
 $\sigma_{32} = \ominus_2$  és  $\sigma_{43} \Rightarrow \rightarrow 3$  szögeinek előállítás.

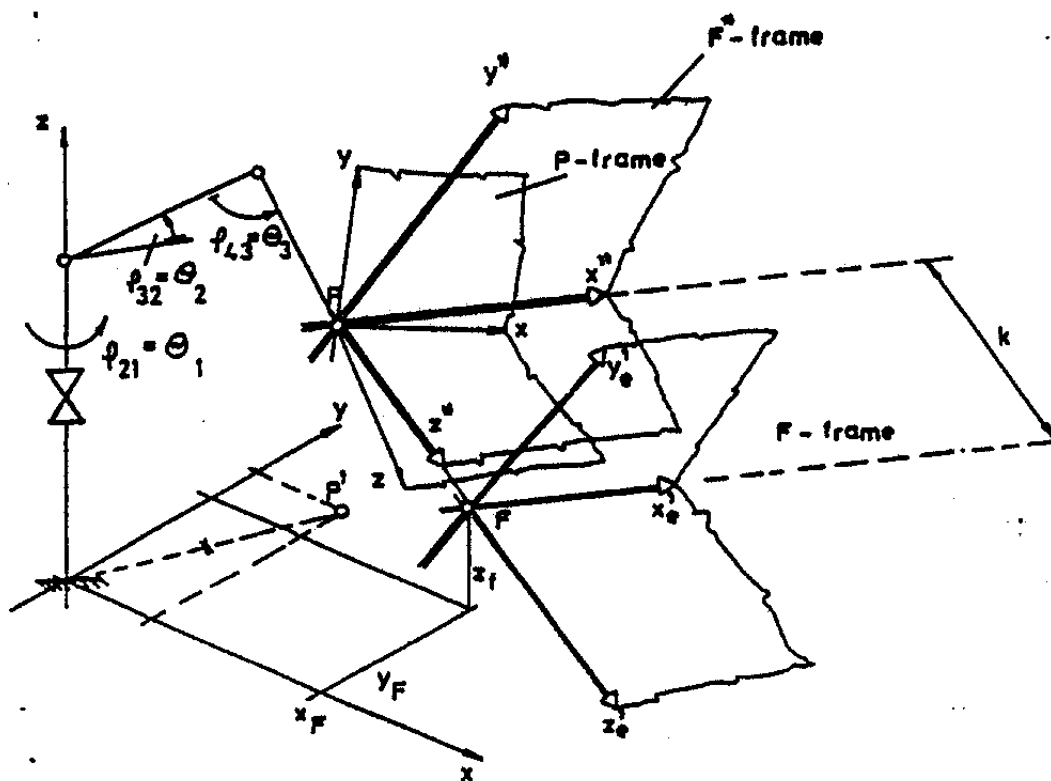








### 4. lépés: A fenti szögkoordináták alapján P-frame előállítása.

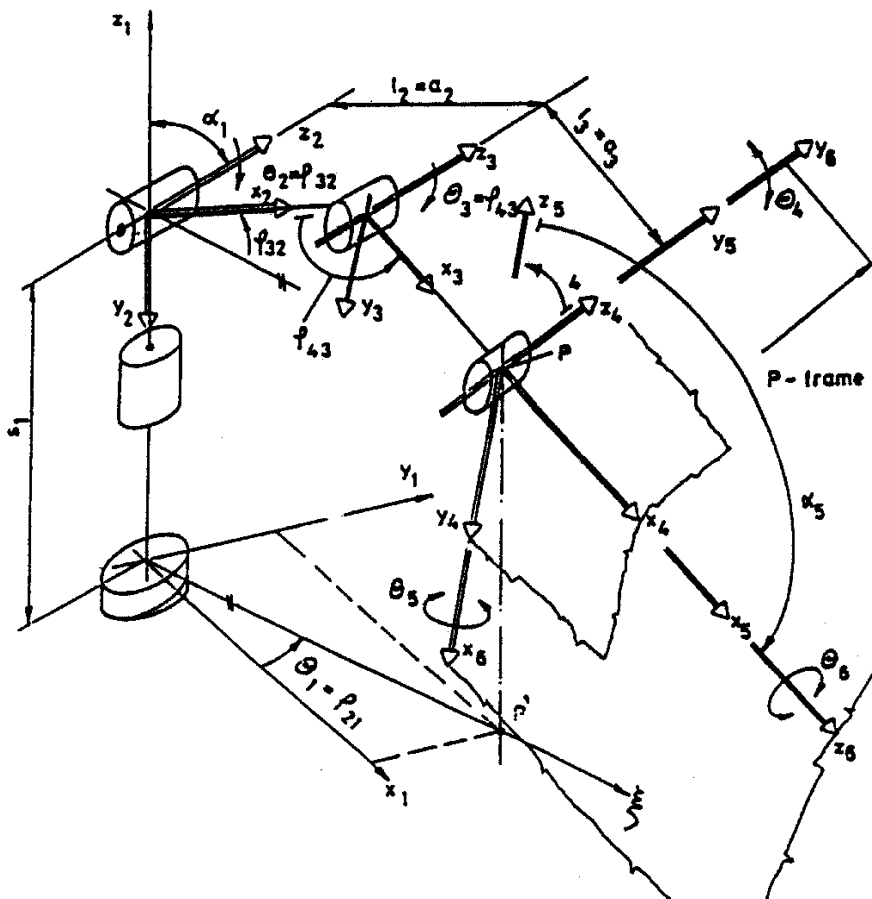




**5. lépés:  $\underline{P}$ -frame  $\underline{F}^*$ -frame-be forgatása.**

$$\underline{F}^* = \underline{P} \cdot \text{ROT}[(z; \Theta_4); (y; \Theta_5); (z; \Theta_6)]$$

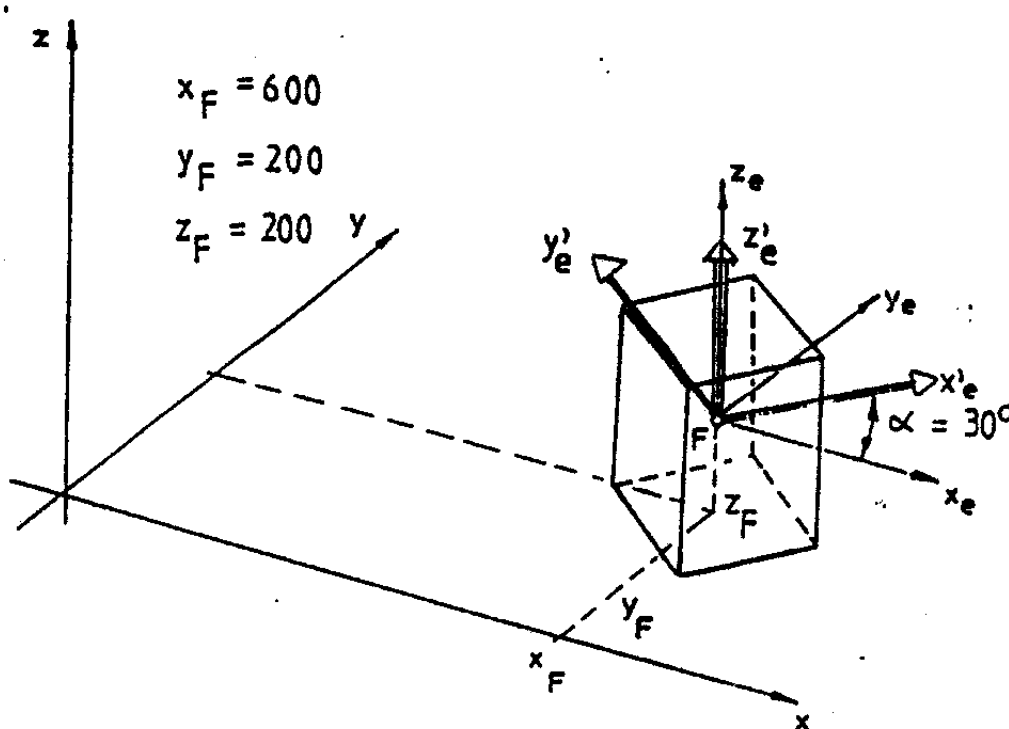
összefüggés alapján, amelynek algebrai egyenletrendszerként való megoldásából kapjuk  $\theta_{54}$ ;  $\theta_{65}$  és  $\theta_{76}$  szögkoordinátákat.

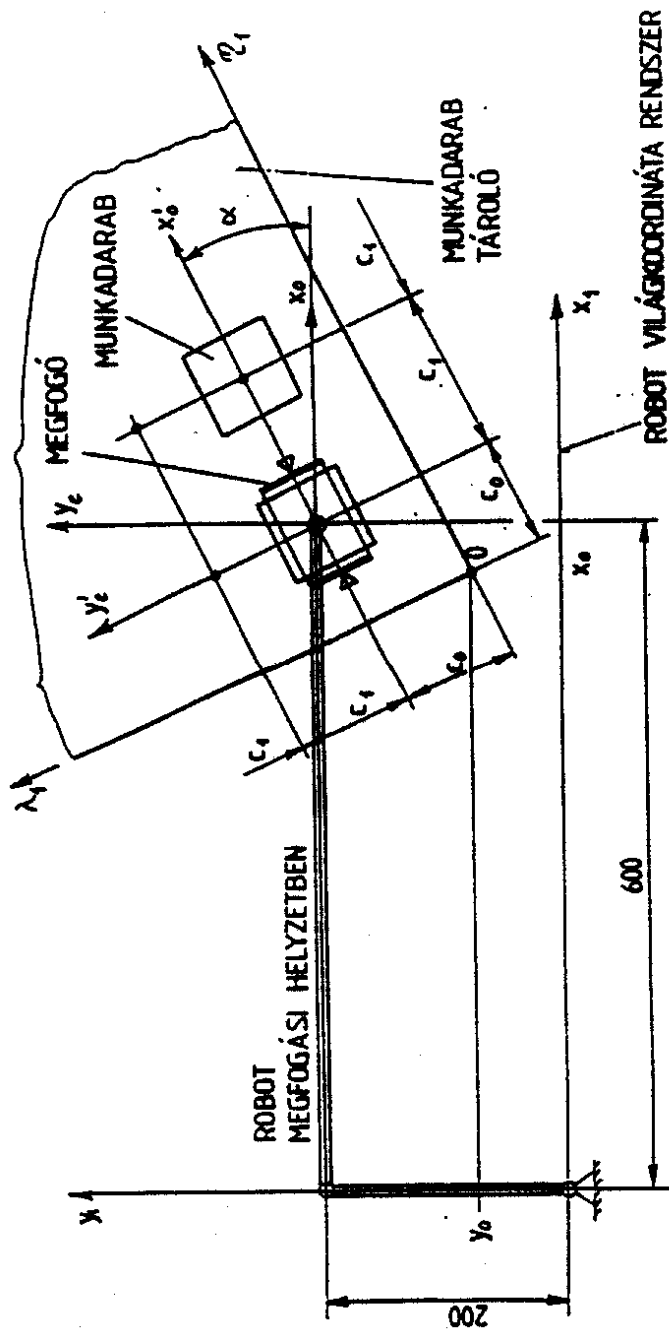


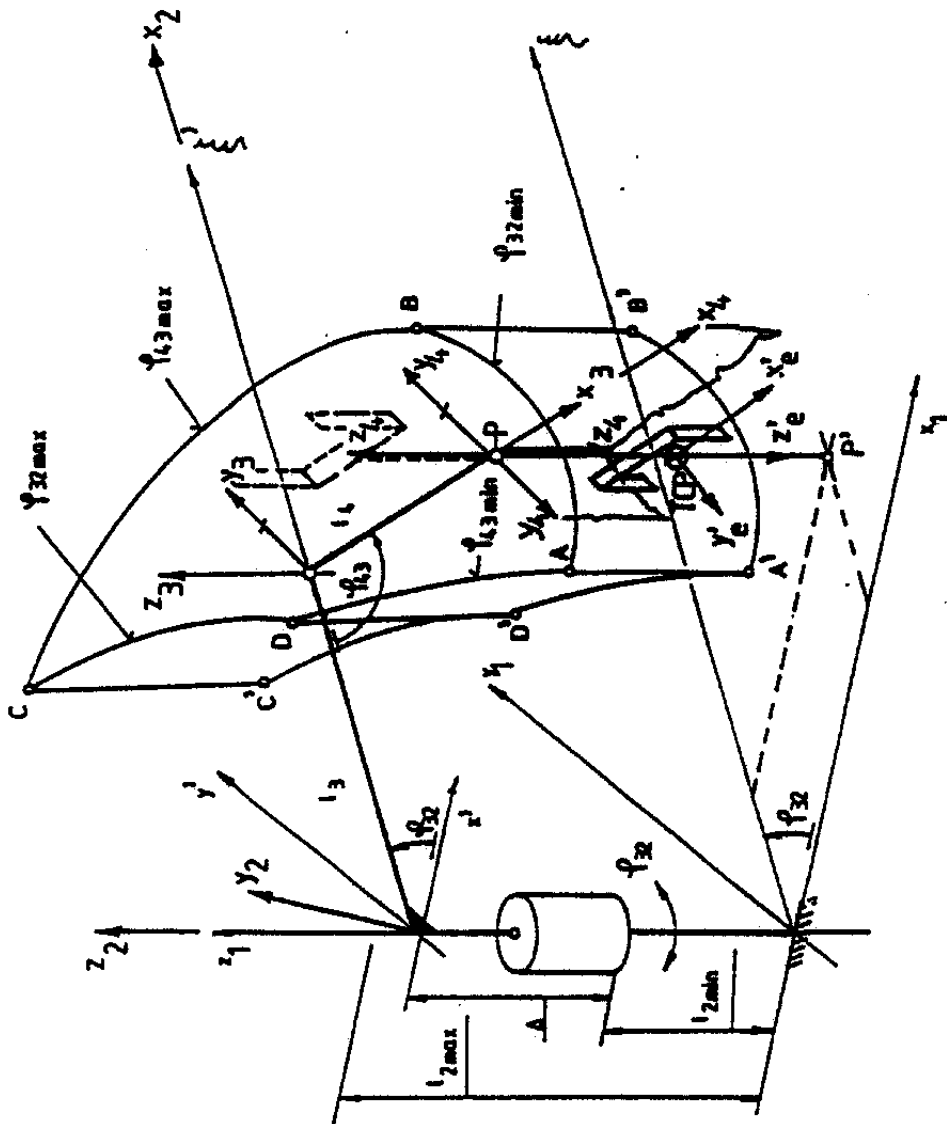


### 6. 3. SZÁMPÉLDA ROBOTMEGFOGÓK ORIENTÁCIÓJÁHOZ

**Munkadarab helyzete az ábra szerinti, határozzuk meg a robotára szerinti pozíció és orientációs mozgást.**









$$\underline{\underline{\mathbf{H}}} = \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 600 \\ 0 & 1 & 0 & 200 \\ 0 & 0 & 0 & 200 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos 30^\circ & -\sin 30^\circ & 0 & 0 \\ \sin 30^\circ & \cos 30^\circ & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] =$$

$$= \left[ \begin{array}{ccc|c} \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{1}{2} & 0 & 600 \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & 200 \\ 0 & 0 & 1 & 200 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$



$$\underline{\underline{\mathbf{F}}} = \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 600 \\ 0 & 1 & 0 & 200 \\ 0 & 0 & 1 & 200 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \left[ \begin{array}{ccc|c} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right].$$

$$\left[ \begin{array}{ccc|c} \cos 30^\circ & -\sin 30^\circ & 0 & 0 \\ \sin 30^\circ & \cos 30^\circ & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{ccc|c} -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 600 \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & 200 \\ \hline 0 & 0 & -1 & 200 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$





A  $\underline{k} = 300$  mm értéket felvéve

$$\underline{\underline{\mathbf{F}^*}} = \left[ \begin{array}{ccc|c} -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & 0 & 600 \\ \frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 0 & 200 \\ 2 & 2 & -1 & 500 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$\mathbf{DH}_{12} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_1 & \sin \Theta_1 \cos \alpha_1 & \sin \Theta_1 \sin \alpha_1 & a_1 \cos \Theta_1 \\ \sin \Theta_1 & \cos \Theta_1 \cos \alpha_1 & -\cos \Theta_1 \sin \alpha_1 & a_1 \sin \Theta_1 \\ 0 & \sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 & s_1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$



$$\begin{aligned} \mathbf{a}_1 &= \mathbf{0} \\ \mathcal{O}_1 &= \mathbf{0} \\ \rightarrow_1 &= \mathbf{0} \end{aligned}$$

$$\mathbf{DH}_{12} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & s_1 \\ \hline \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{array} \right]$$

$$\begin{aligned} s_2 &= \mathbf{0} \\ \mathcal{O}_2 &= \mathbf{0} \end{aligned}$$

$$\mathbf{DH}_{23} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_{32} & -\sin \Theta_{32} & 0 & a_2 \cos \Theta_{32} \\ \sin \Theta_{32} & \cos \Theta_{32} & 0 & a_2 \sin \Theta_{32} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$



$$s_3 = 0$$

$$c_3 = 0$$

$$DH_{34} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_{43} & -\sin \Theta_{43} & 0 & a_3 \cos \Theta_{43} \\ \sin \Theta_{43} & \cos \Theta_{43} & 0 & a_3 \sin \Theta_{43} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$DH_{12} DH_{23} DH_{13} = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_{32} & -\sin \Theta_{32} & 0 & a_2 \cos \Theta_{32} \\ \sin \Theta_{32} & \cos \Theta_{32} & 0 & a_2 \sin \Theta_{32} \\ 0 & 0 & 1 & s_1 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$



$$\mathbf{DH}_{14} = \left[ \begin{array}{cc|c|c}
 \cos \Theta_{32} \cos \Theta_{43} & -\cos \Theta_{32} \sin \Theta_{43} & 0 & a_3 \cos \Theta_{43} \cos \Theta_{32} \\
 -\sin \Theta_{43} \sin \Theta_{32} & -\sin \Theta_{32} \cos \Theta_{43} & 0 & -a_3 \sin \Theta_{43} \sin \Theta_{32} + \\
 & & & + a_2 \cos \Theta_{32} \\
 \sin \Theta_{32} \cos \Theta_{43} & -\sin \Theta_{32} \sin \Theta_{43} & 0 & a_3 \sin \Theta_{32} \cos \Theta_{43} + \\
 + \cos \Theta_{32} \sin \Theta_{43} & + \cos \Theta_{32} \sin \Theta_{43} & 0 & + a_3 \cos \Theta_{32} \sin \Theta_{43} + \\
 & & & + a_2 \sin \Theta_{32} \\
 \hline
 0 & 0 & 1 & s_1 \\
 \hline
 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array} \right]$$

### A pozícióhelyzetet meghatározó szögkoordináták

$$\begin{bmatrix} 600 \\ 200 \\ 500 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{DH}_{14} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

mátrixegyenletből



$$600 = 600(\cos\Theta_{43}\cos\Theta_{32} - \sin\Theta_{43}\sin\Theta_{32}) + 200\cos\Theta_{32}$$

$$200 = 600(\sin\Theta_{32}\cos\Theta_{43} + \cos\Theta_{32}\sin\Theta_{43}) + 200\sin\Theta_{32}$$

$$500 = s_1$$

$$600 = 600\cos(\Theta_{43} + \Theta_{32}) - 200\cos\Theta_{32}$$

$$200 = 600\sin(\Theta_{43} + \Theta_{32}) + 200\sin\Theta_{32}$$



## Az egyenleteket négyzetre emelve

$$\begin{aligned}
 600^2 &= 600^2 \cos^2(\Theta_{43} + \Theta_{32}) - \\
 &- 200 \cdot 600 \cdot 400 \cos(\Theta_{43} + \Theta_{32}) \cos \Theta_{32} + 200^2 \cos^2 \Theta_{32} \\
 200^2 &= 600^2 \sin^2(\Theta_{43} + \Theta_{32}) + \\
 &+ 200 \cdot 600 \cdot 400 \sin(\Theta_{43} + \Theta_{32}) \sin \Theta_{32} + 200^2 \sin^2 \Theta_{32}
 \end{aligned}$$

$$0 = \cos(\Theta_{43} + \Theta_{32}) \cos \Theta_{32} - \sin(\Theta_{43} + \Theta_{32}) \sin \Theta_{32}$$

$$0 = \cos(\Theta_{43} + 2\Theta_{32})$$

$$\Theta_{43} = \frac{\pi}{2} - 2\Theta_{32}$$

## Az első két egyenletbe visszahelyettesítve

$$600 = 600 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \Theta_{32}\right) - 200 \cos \Theta_{32}$$

$$200 = 600 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \Theta_{32}\right) + 200 \sin \Theta_{32}$$



**majd az azonosságokat felhasználva**

$$600 = 600 \sin \Theta_{32} - 200 \cos \Theta_{32}$$

$$200 = -600 \cos \Theta_{32} + 200 \sin \Theta_{32}$$

**illetve a két egyenletet összeadva, majd négyzetre emelve:**

$$0 = \sin \Theta_{32} \cos \Theta_{32}$$

**amelyből**

$$\Theta_{32} = \frac{\pi}{2}; \quad 0;$$

$$\Theta_{43} = -\frac{\pi}{2}; \quad \frac{\pi}{2}$$

**A 3 jelű kar koordinátarendszerbeli helyzetét meghatározó ### szög a fenti adatokkal**

$$\alpha = (\Theta_{43} + \Theta_{32} - \pi) = -\pi = 0$$



**P - frame a fentiek alapján**

$$\underline{\underline{\mathbf{P}}} = \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 600 \\ 0 & 1 & 0 & 200 \\ 0 & 0 & 1 & 500 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] \left[ \begin{array}{ccc|c} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{ccc|c} -1 & 0 & 0 & 600 \\ 0 & 1 & 0 & 200 \\ 0 & 0 & -1 & 500 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

Az  $\underline{\underline{\mathbf{F}}}^* = \underline{\underline{\mathbf{P}}} \cdot \text{ROT}(z; \Theta_6)$  egyenlőség alapján, ahol

$$\text{ROT}(z; \Theta_6) = \left[ \begin{array}{ccc|c} \cos \Theta_6 & -\sin \Theta_6 & 0 & 0 \\ \sin \Theta_6 & \cos \Theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$\underline{\underline{\mathbf{P}}} \cdot \text{ROT}(z; \Theta_6) = \left[ \begin{array}{ccc|c} -\cos \Theta_6 & \sin \Theta_6 & 0 & 600 \\ \sin \Theta_6 & \cos \Theta_6 & 0 & 200 \\ 0 & 0 & 1 & 500 \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

amelynek elemeit összehasonlítva  $\underline{\underline{\mathbf{F}}}^*$  elemeivel





$$-\cos \Theta_6 = -\frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$\sin \Theta_6 = \frac{1}{2}$$

$$\cos \Theta_6 = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$\Theta_6 = 30^\circ$  adódik a megfogószerkezet orientációs mozgására.



## **6. 4. ROBOTOK PÁLYAGENERÁLÁSA**

**Ipari robotok pályagenerálásánál általában két irányítási mód ismert.**

- PTP (point-to-point),
- CP (continous-path).

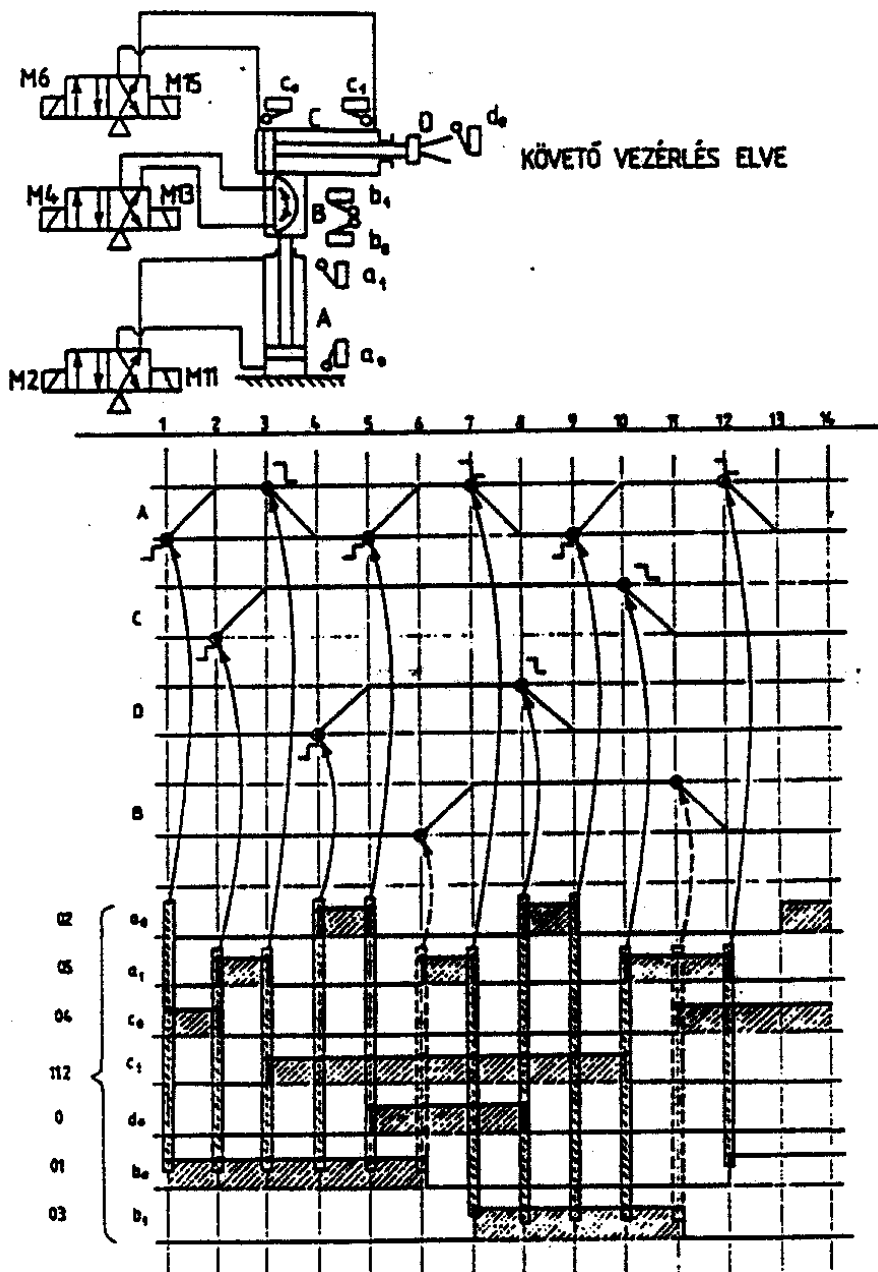
**Egyszerű esetekben - pneumatikus hajtások esetén - alkalmazható az ún. *követő vezérlés*, azonban meg kell jegyezni, hogy ez nem kimondottan robot irányítási mód.**

### **6. 4. 1. Követő vezérlés**

**Egyszerű esetekben szerszámgépadagolásnál és munkadarabok átrakásánál elegendő a követő vezérlés. A követő vezérlésnek nincs szabályozó rendszere. Lényege, hogy a következő programlépés csak akkor következik be, ha az előzőt, mint lezártat, az irányítórendszer készre jelentettnek érzékeli. A megelőző programlépés lezárásának érzékelése tisztán kvalitatív jelleggel megy végbe.**



Egy egyszerű pneumatikus helyezőberendezés út és állapot diagramját mutatja a következő ábra.



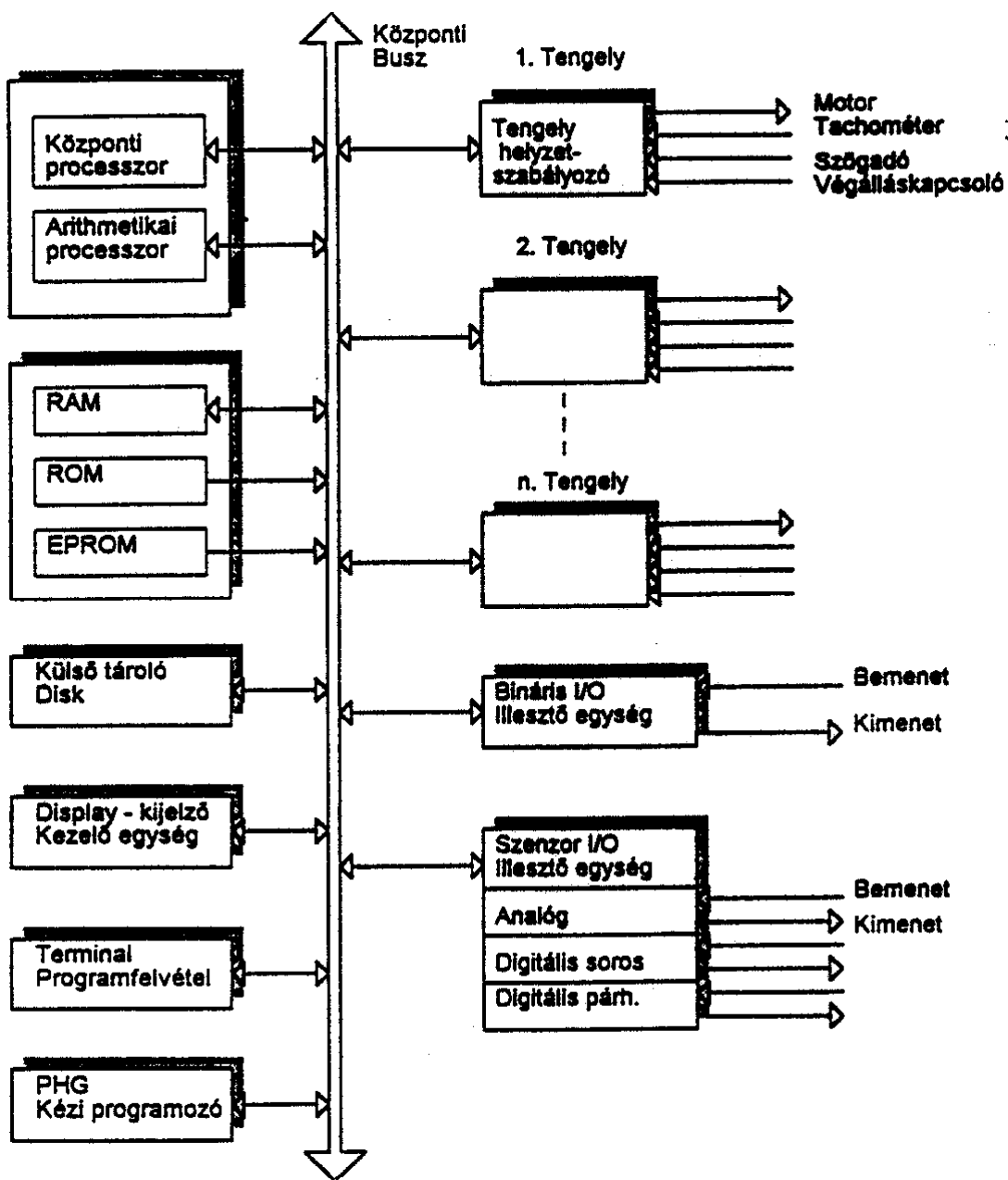


## **6. 4. 2. Robotirányítás általános elve**

**A robotirányítás általános elvét a következő ábra mutatja.**



Gábor Dénes Főiskola





### **6. 4. 2. PTP (point-to-point) irányítás**

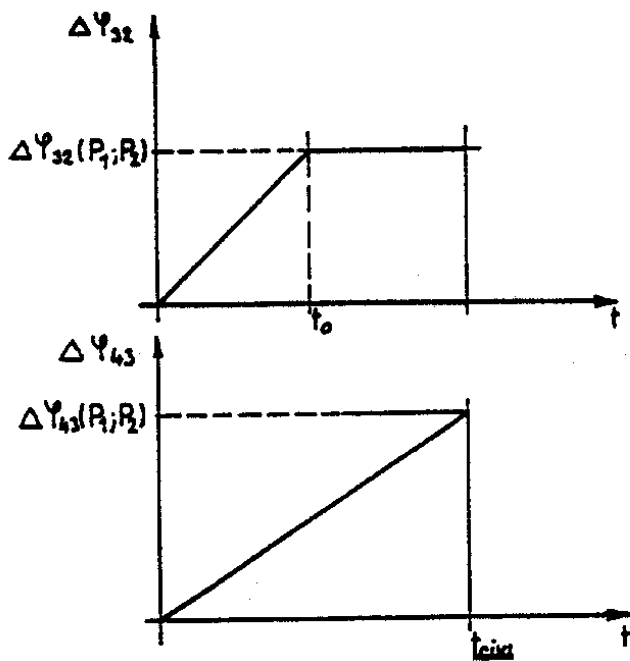
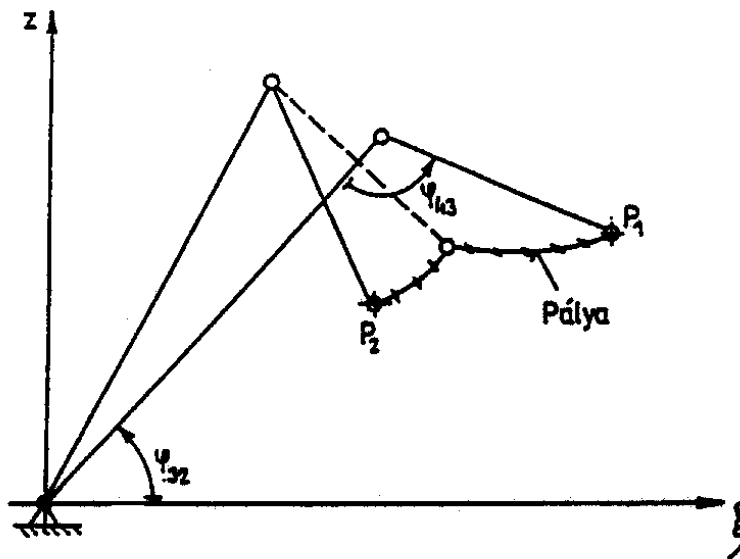
**A pontirányítást minden olyan esetben alkalmazhatjuk, amikor a munkatérben csak egyedi pontokat kell érinteni, mint például az anyagkezelési kiszolgálási feladatok esetén, vagy fröccsöntési feladatok, illetve ponthegesztési anyagkezelés megoldása esetén. A memóriába diszkrét térbeli pontokat lehet rögzíteni. Az egymást követő pályapontok közötti utat a csuklóknak működő szervorendszerek az alábbi feltételek mellett hajtják végre;**

- minden szervó egyidejűleg elindul,**
- minden tengely a programozott maximális sebességgel (szögsebességgel) mozog,**
- az előző feltétel következtében a robot karok az előírt utat (szöveget) eltérő idő alatt teszik meg.**

**A fenti feltételek a pályagörbéken töréseket eredményeznek, amit egy síkmozgást végző csuklókaros robot esetén a következő ábra mutat.**



Gábor Dénes Főiskola





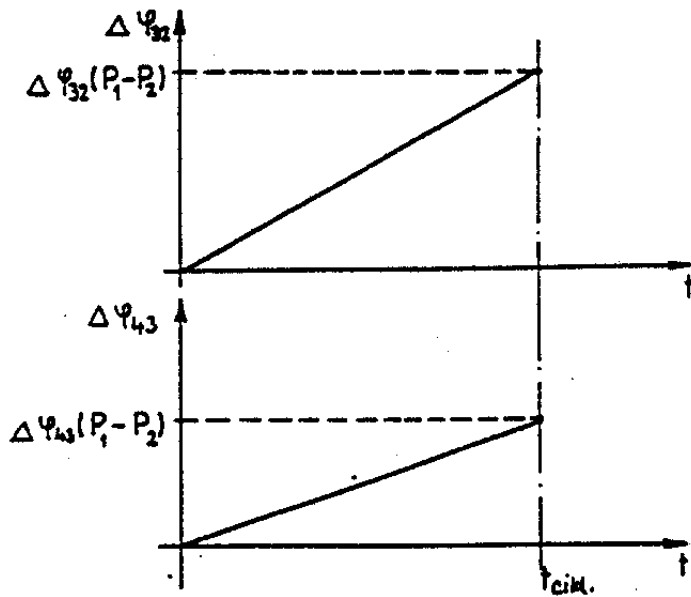
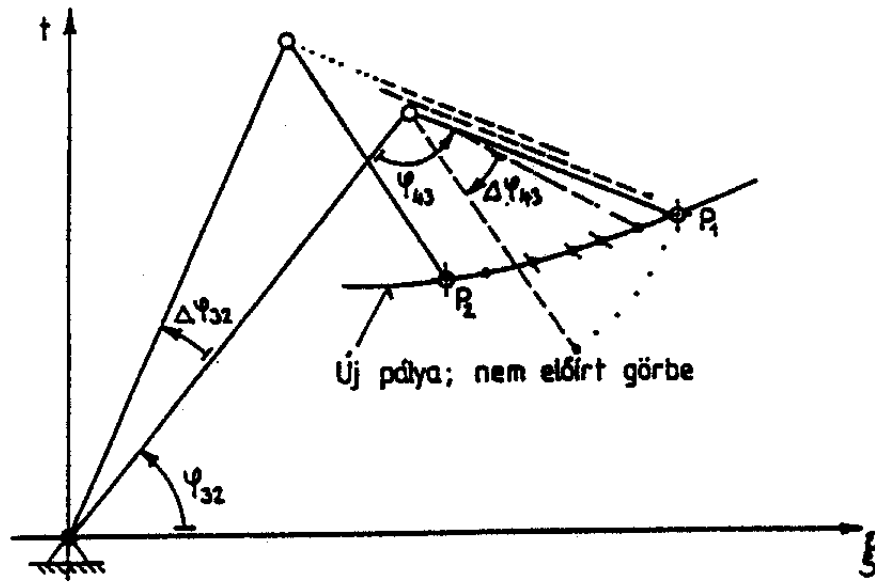
### **6. 4. 3. CP (continous-path) irányítás**

#### **a.) Lineáris tengelyinterpoláció (MP multi-point) irányítás**

**A robot a programozott útvonalat úgy teszi meg, hogy a tengelyek mozgása egyidejűleg kezdődik és egyidejűleg fejeződik be. Két pont közötti síkbeli mozgás esetén a pálya a következő ábra alapján értelmezhető.**

**Az ábrából az is látható, ha a P<sub>1</sub> P<sub>2</sub> szakaszt útkrementumként tekintjük, nagy inkrementumok esetén a linearitástól jelentősen eltér.**







## **b.) Lineáris pályainterpoláció valós térbeli koordinátarendszerben**

**Ennél az irányítási módnál a csuklómozgások közötti funkcionális összefüggést a robot TCP pontja által befutandó térbeli pálya adja, amelyet a következő összefüggések és ábrák alapján lehet meghatározni:**

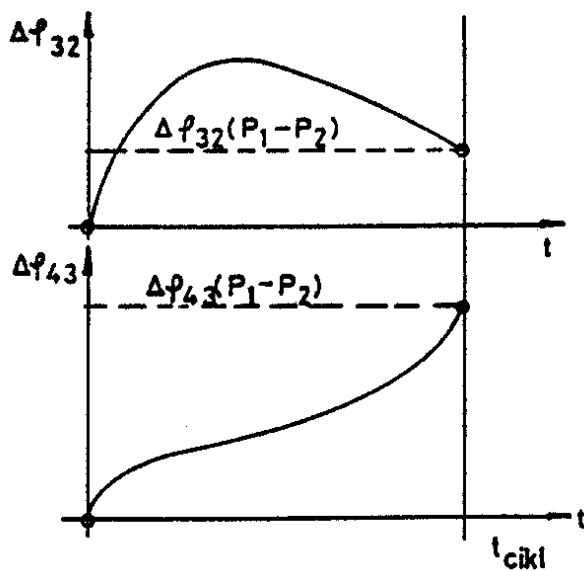
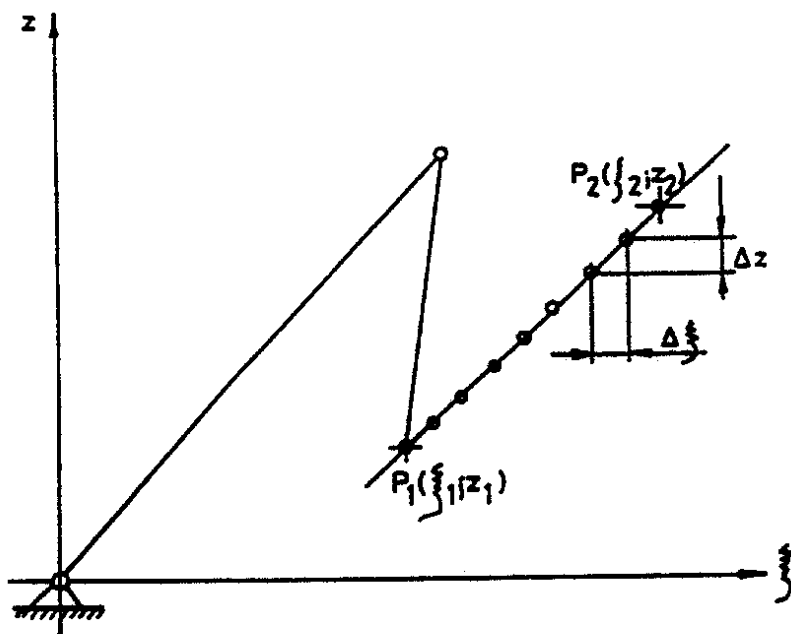
$$\varphi_{21} = \operatorname{arctg} \frac{y}{x}$$

$$\varphi_{32} = \Theta_2 = \gamma + \alpha = \operatorname{arcsin} \frac{z - l_1 + l_3 \sin(\Theta_2 + \Theta_3)}{l_2}$$

$$\varphi_{43} = \Theta_3 = 180^\circ - \alpha - \beta = \operatorname{arccos} \frac{l_3^2 + l_2^2 - x^2 - y^2 - (z - l_1)^2}{2 l_2 l_3}$$

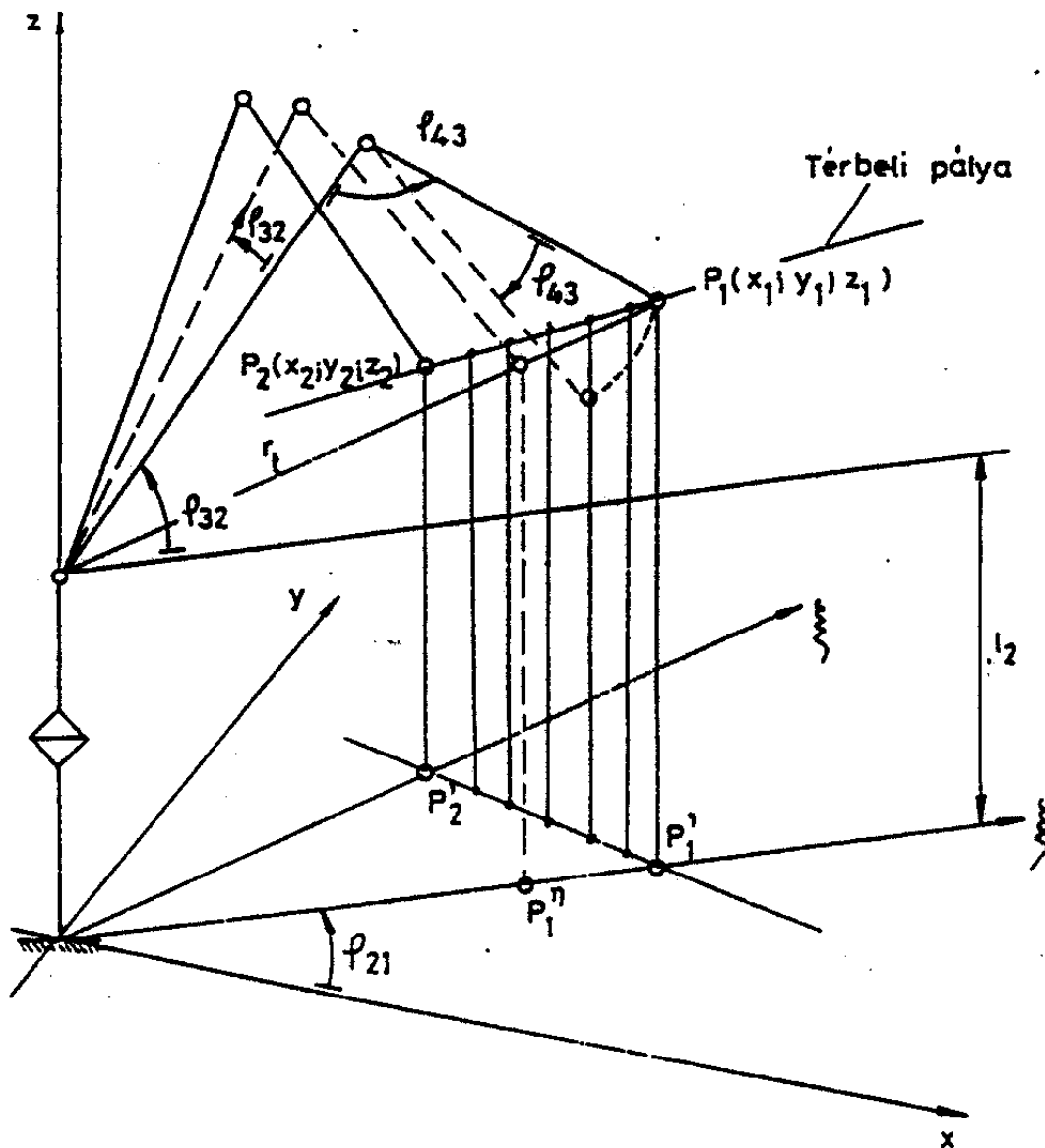


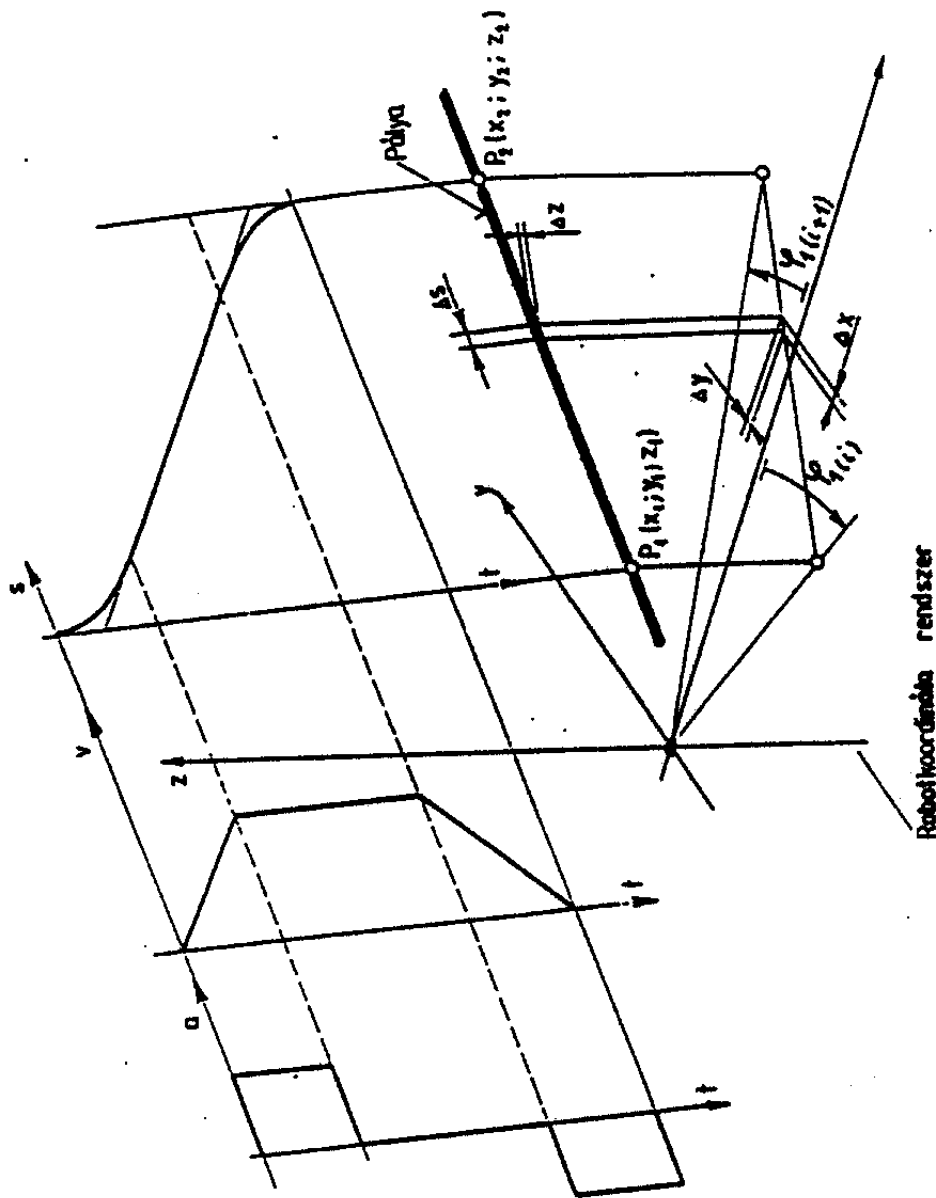
**b1. Síkbeli pályagenerálás lineáris interpolációval**





## b2. Térbeli pályagenerálás lineáris interpolációval

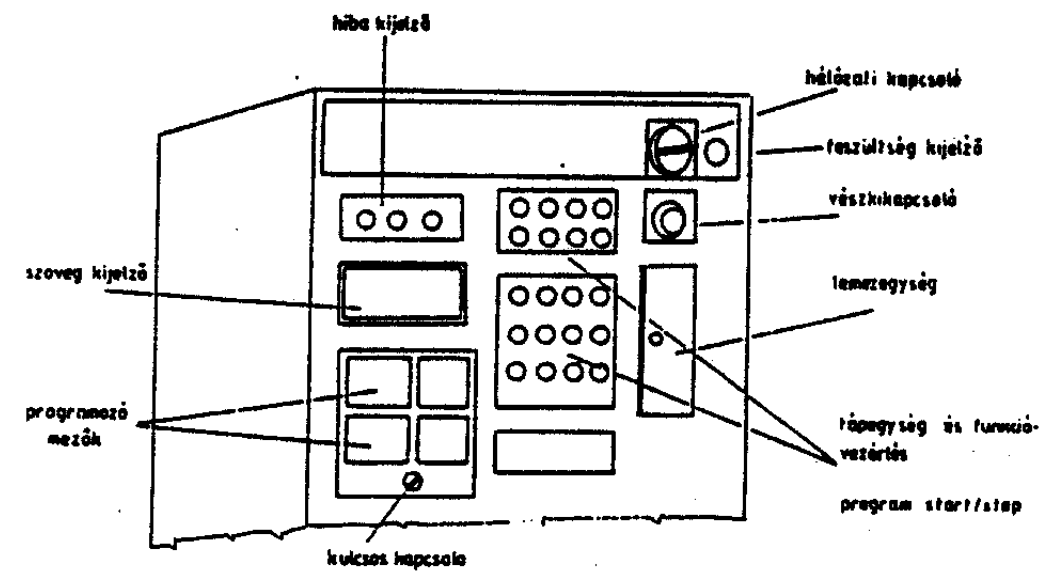






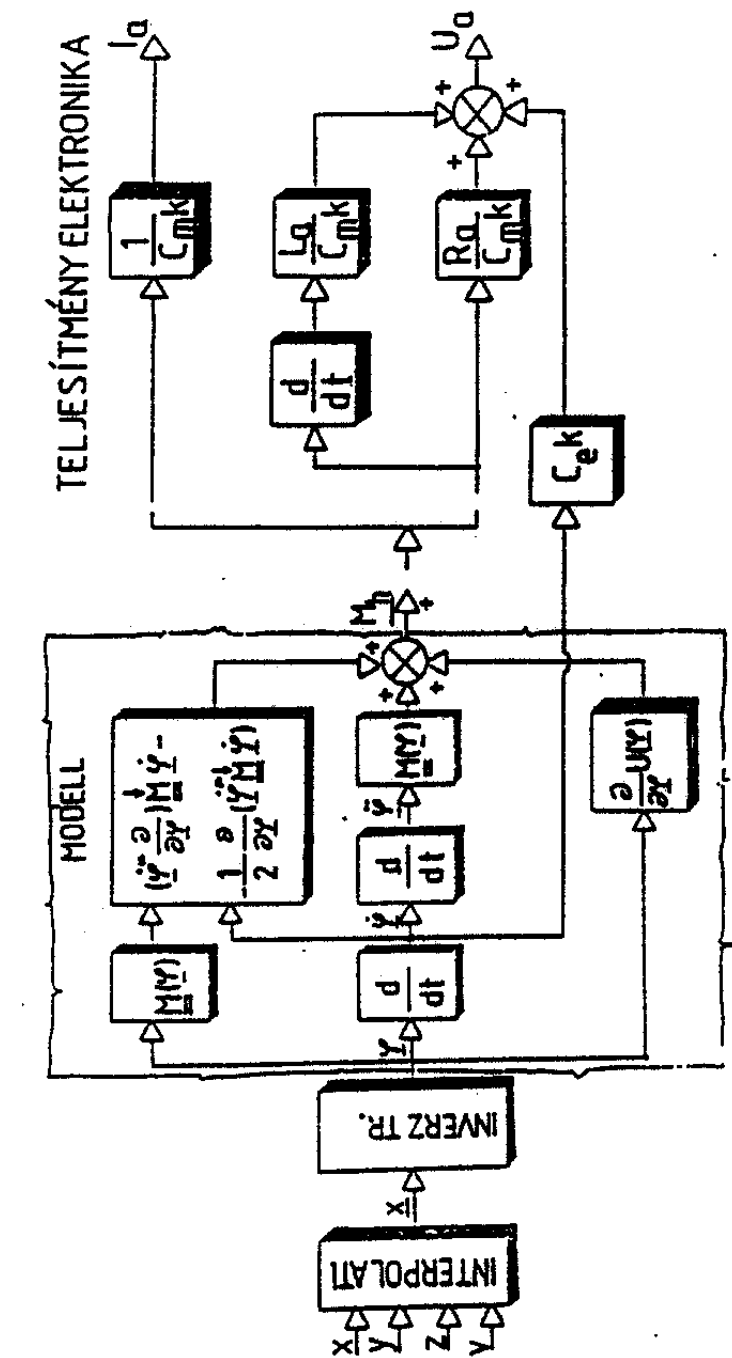
### 6. 4. 4. Robotok programozása

- Programozás pontok felvételével és a koordináták, valamint segédfunkciók tárolásával,
- A pálya felvétele és az adatok automatikus tárolása,
- Programozás programnyelv segítségével, világkoordinátarend-szerben.



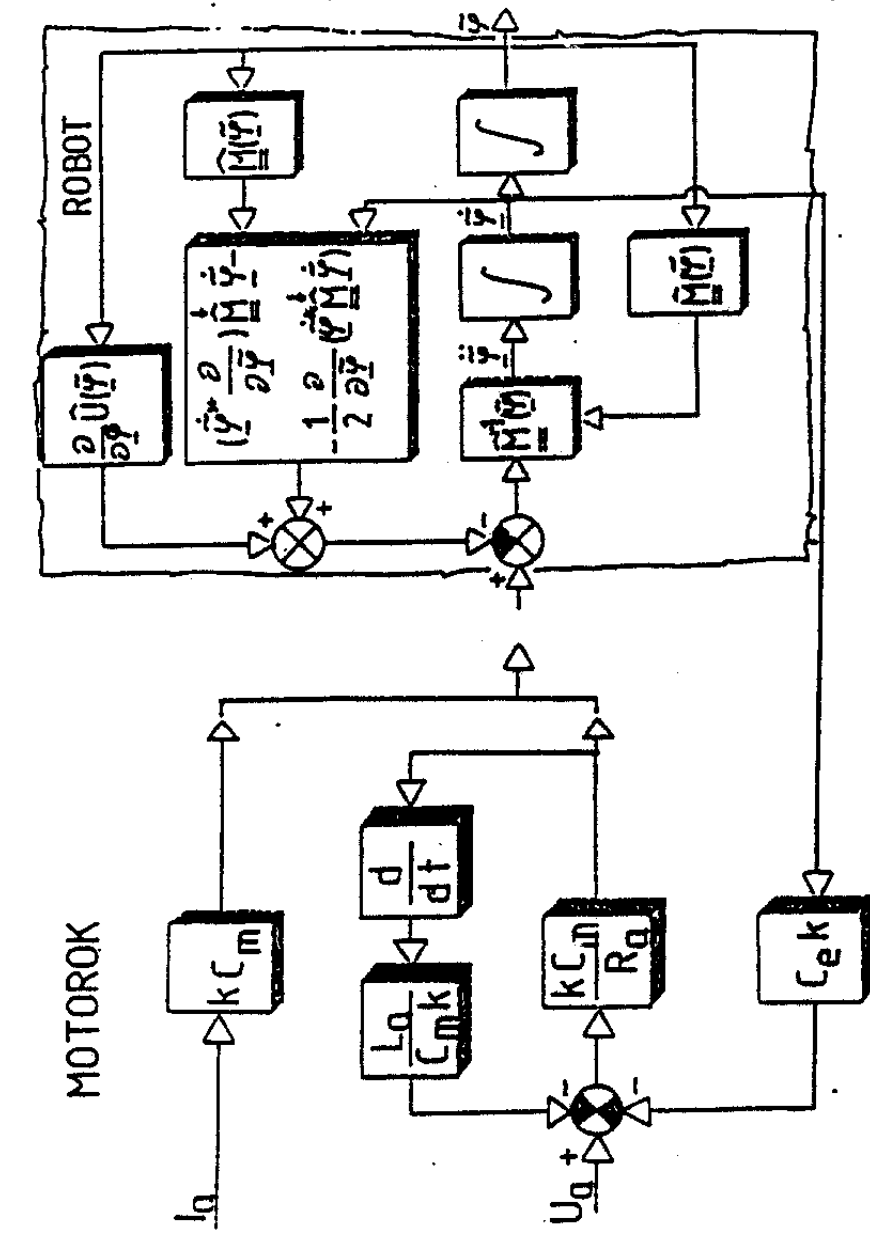


Gábor Dénes Főiskola

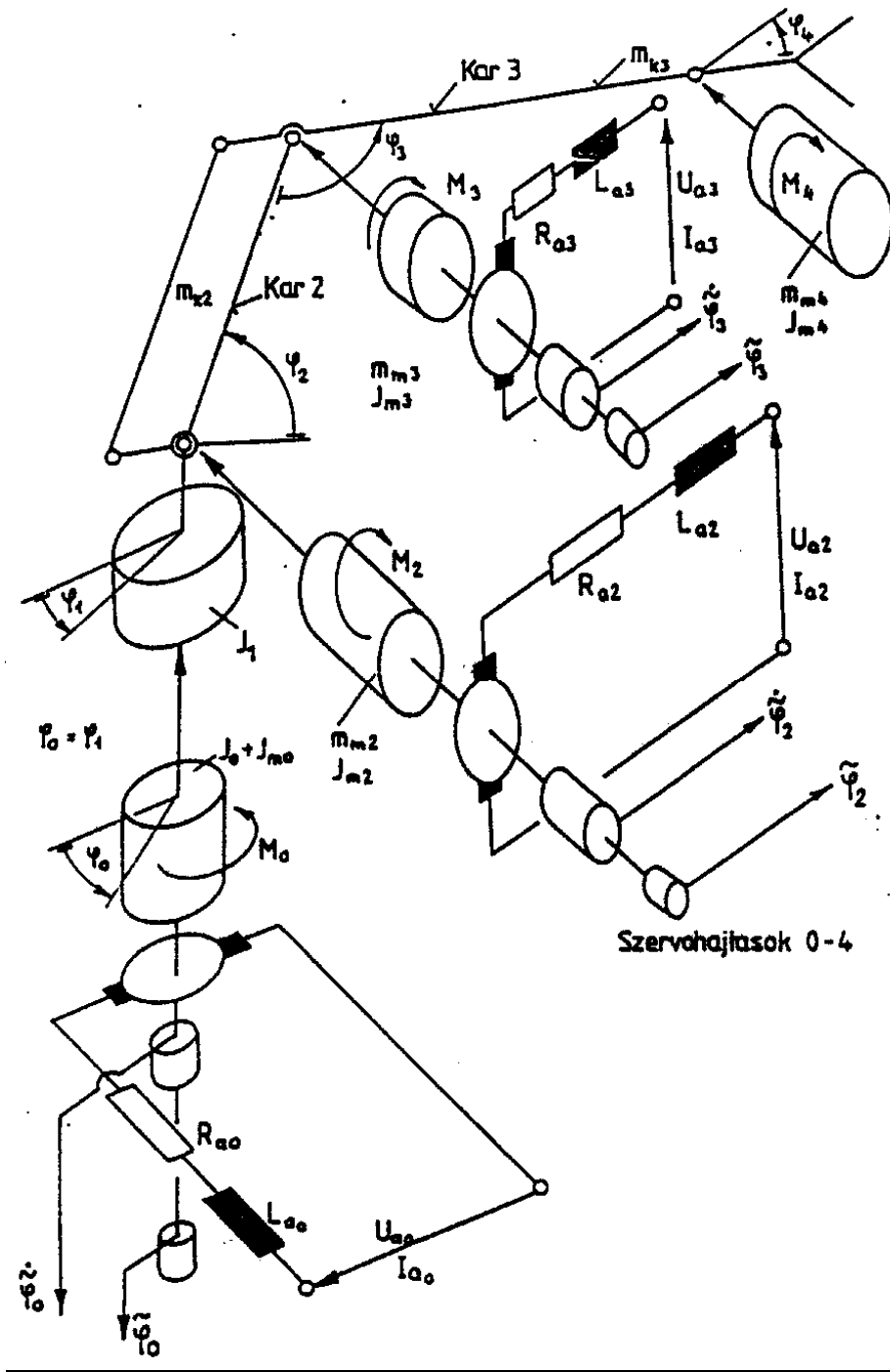


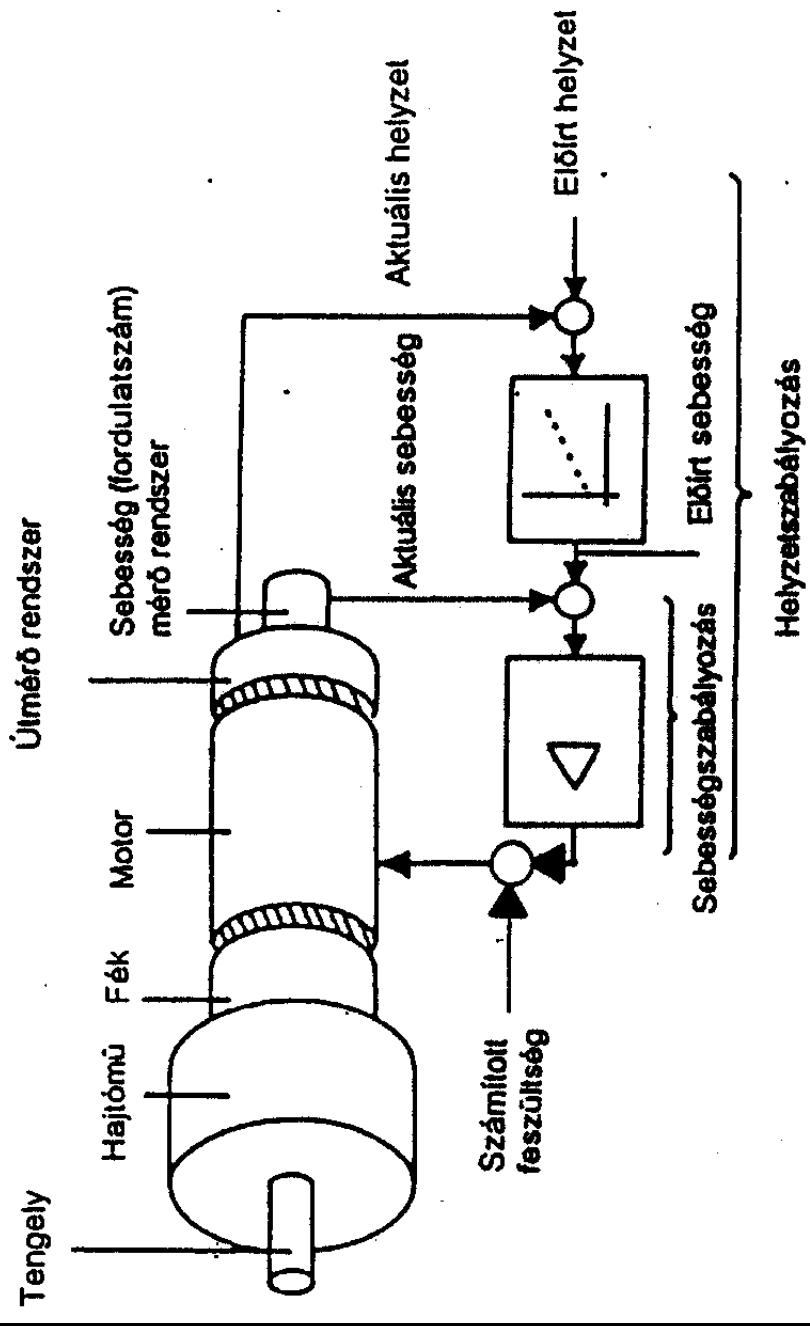


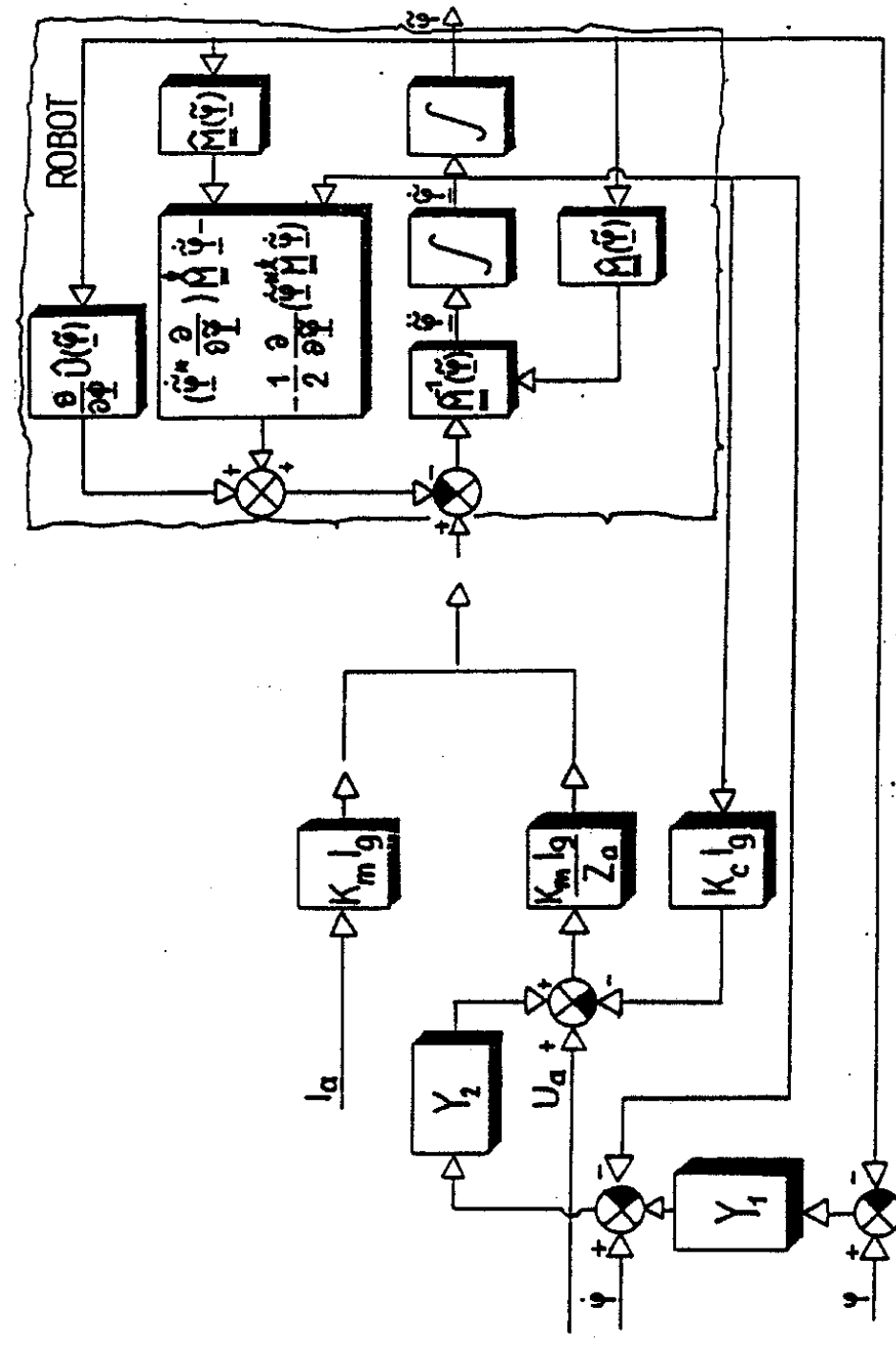
Gábor Dénes Főiskola













## **7. ROBOTOK ALKALMAZÁSA** **(MUNKAHELYEK ROBOTOS** **KISZOLGÁLÁSÁNAK ÁLTALÁNOS ELVE)**

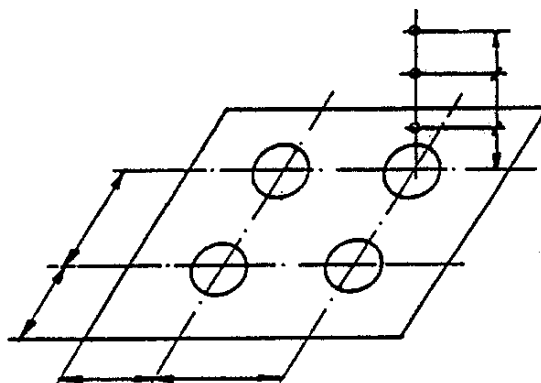
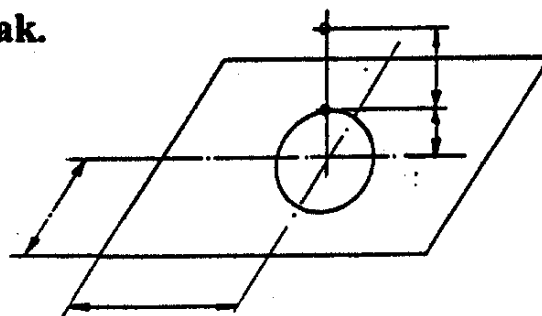
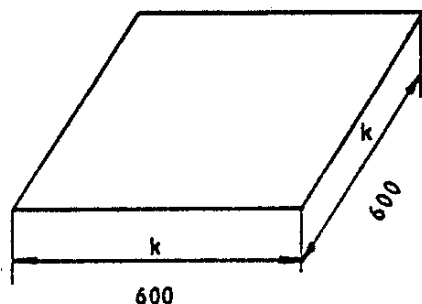
A munkahelyek robotos kiszolgálásának elve a következő ábrán szemlélhető, amelynek lényege, hogy a robot az ún. világkoordinátarendszerben a munkadarabtároló- és a megmunkálógép munkatere által meghatározott térrészeket ( $\approx 1$ ; ●<sub>1</sub>; ↗<sub>1</sub> és  $\approx 2$ ; ●<sub>2</sub>; ↗<sub>2</sub>) a robot munkaterének be kell fedni. A feladat másik oldaláról is megközelíthető úgy, hogy a robot világkoordinátarendszerében meghatározott munkaterében kell elhelyezni az  $\approx 1$ ; ●<sub>1</sub>; ↗<sub>1</sub> és  $\approx 2$ ; ●<sub>2</sub>; ↗<sub>2</sub> koordinátarendszereket, illetőleg az abban rögzített térrészeket. Amennyiben a két egymástól független térrész egymás akadályozása nélkül a munkaterében elhelyezhető, az anyagkezelési feladat a szóbanforgó robottal megoldható. A leírt elv a következő ábrákon követhető végig.

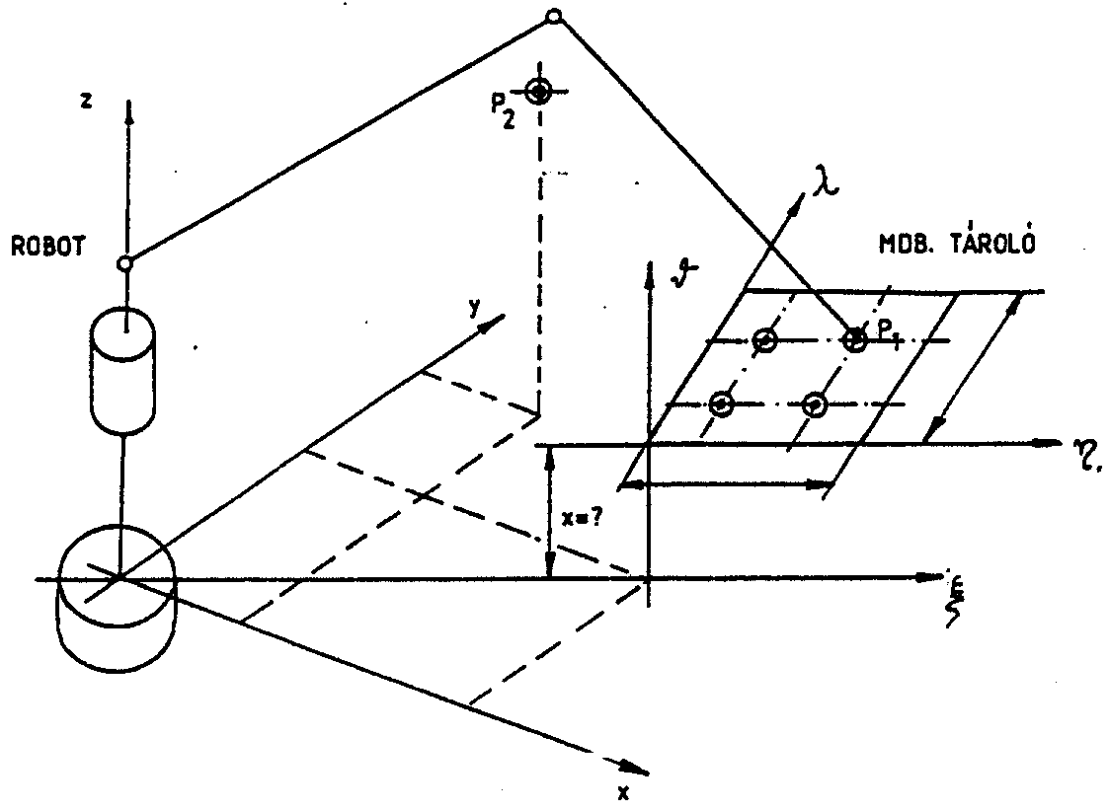


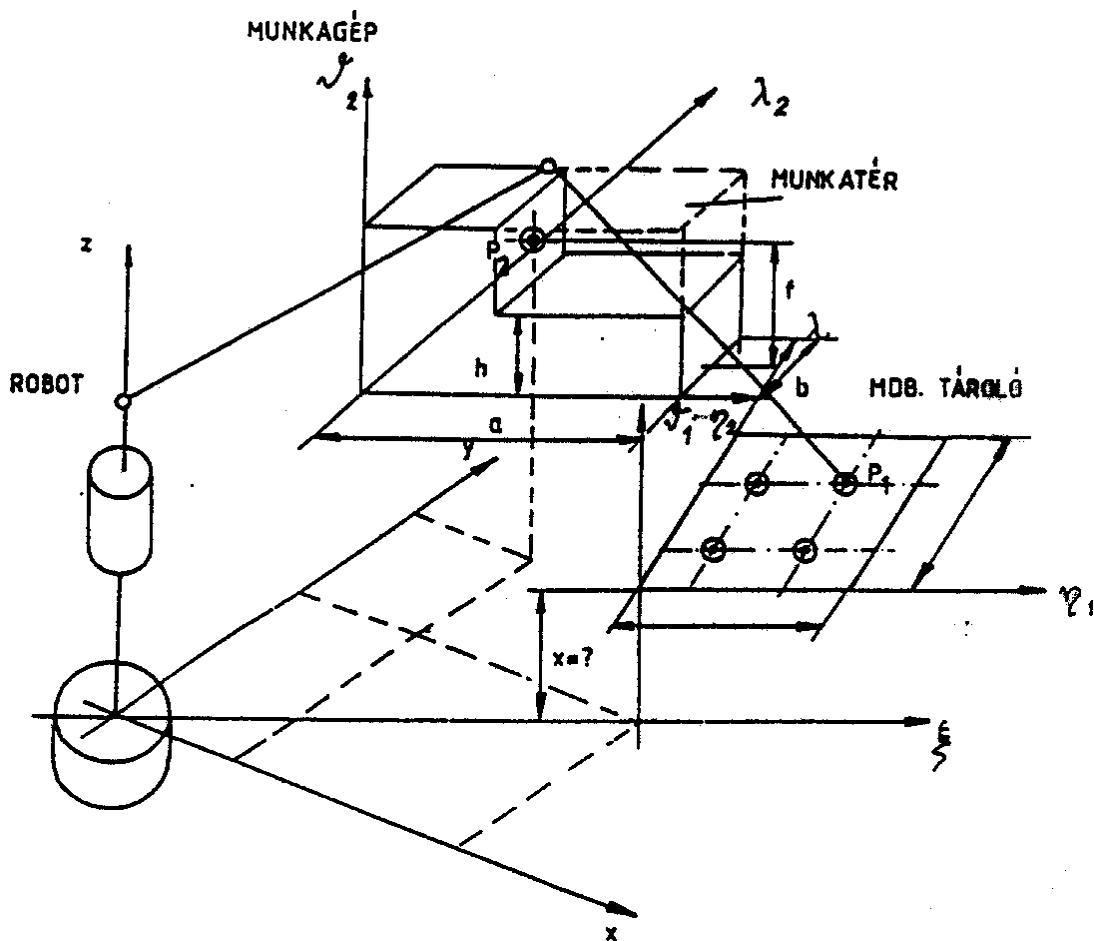
## 7. 1. MUNKADARABTÁROLÓ

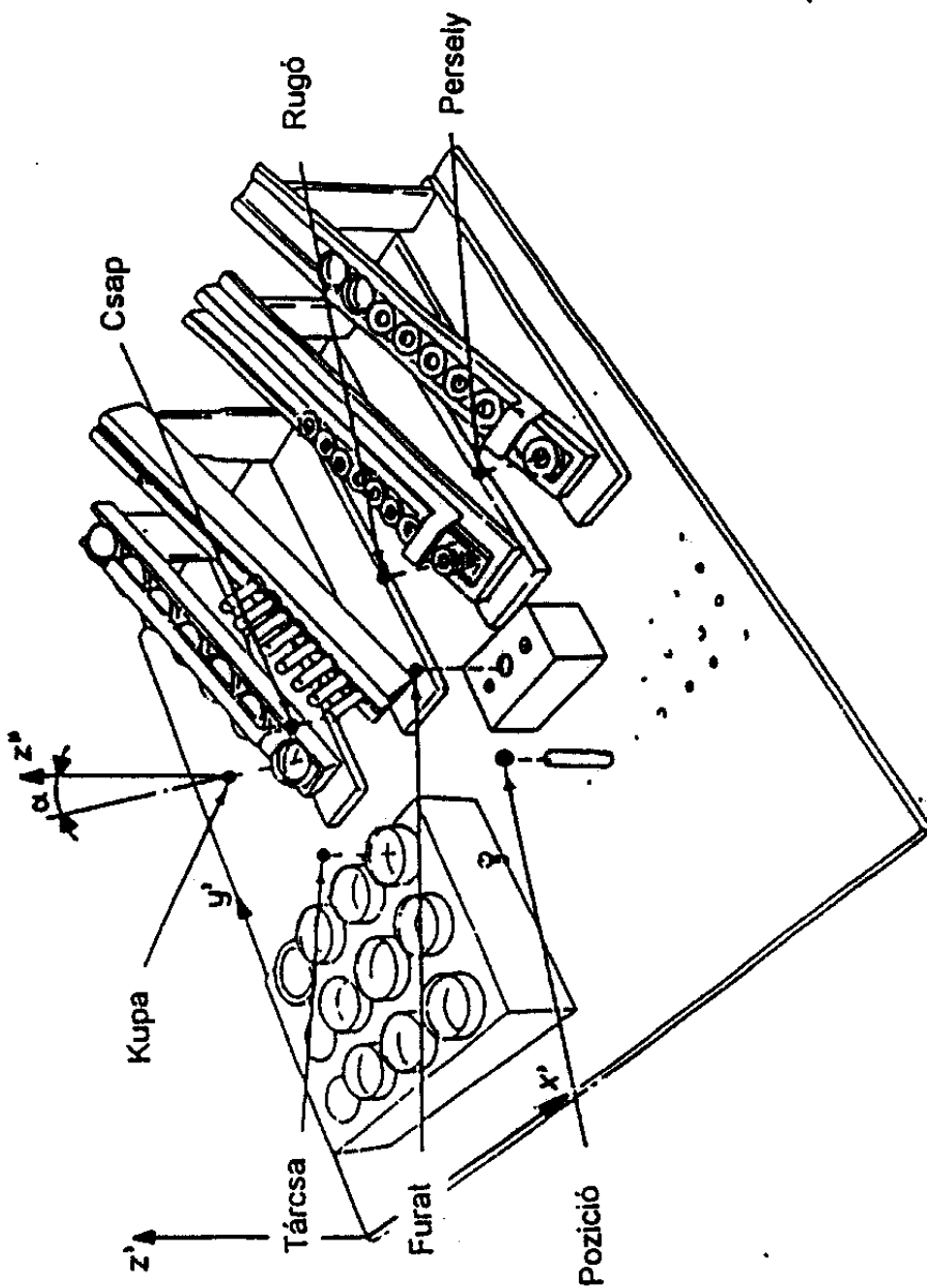
Az anyagkezelés szempontjából a munkadarabtárolást technológiai palettán, szabványos rako-dólapon, vagy egyéb munkadarabtárolókon végez-zük, geometriailag meghatározott munkadarab elren-dezéssel halmazoltan, vagy halmazolás nélkül. A munkadarabok helyzetének pontos megadása azért lényeges, hogy az  $\approx_1$ ;  $\bullet_1$ ;  $\rightarrow_1$  koordináta-rendszer alapján a munkadarabtároló helyzete egyértelműen meghatározható legyen. Különböző anyagtárolókat a következő ábrák mutatnak.

következő ábrák mutatnak.





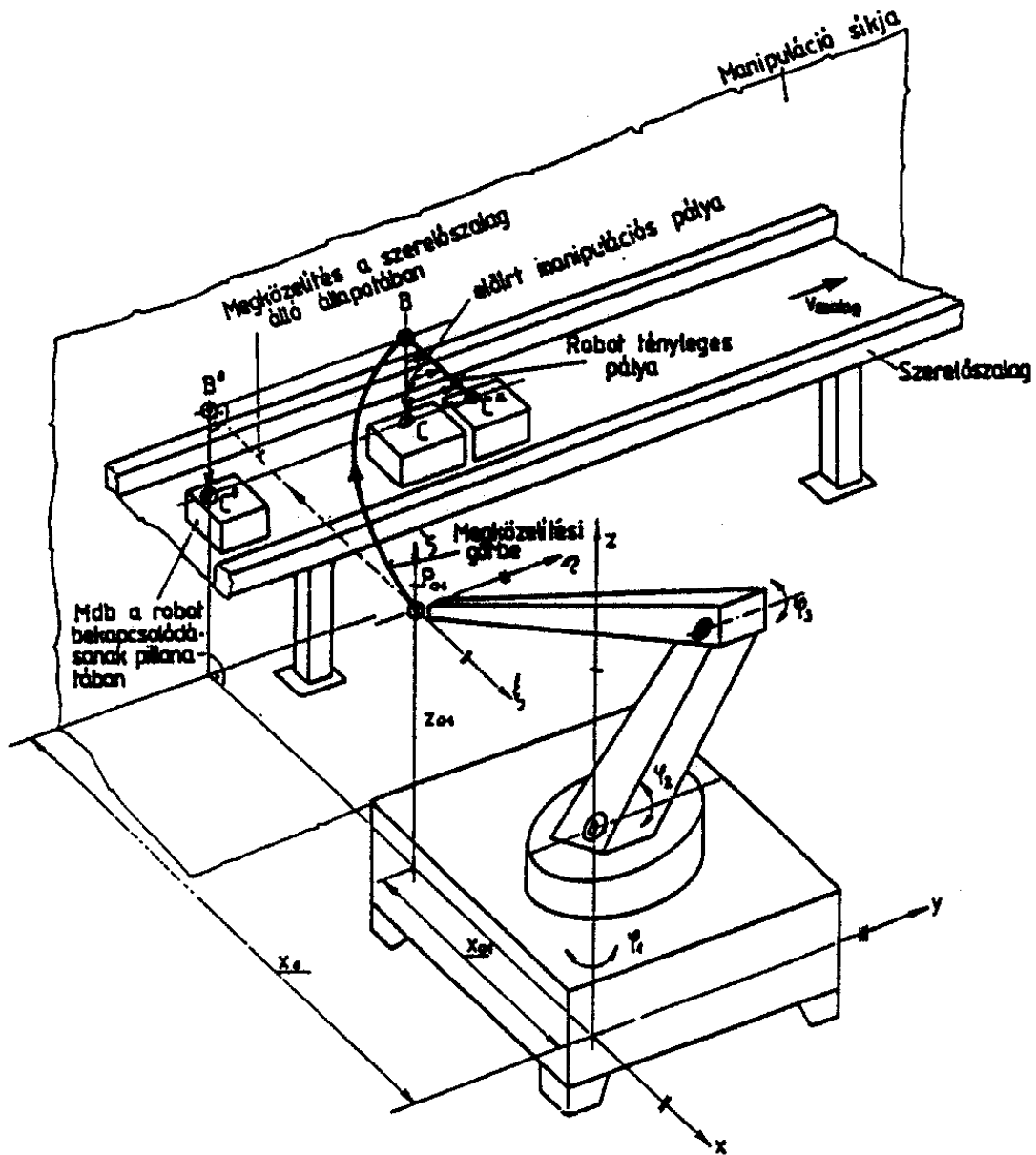






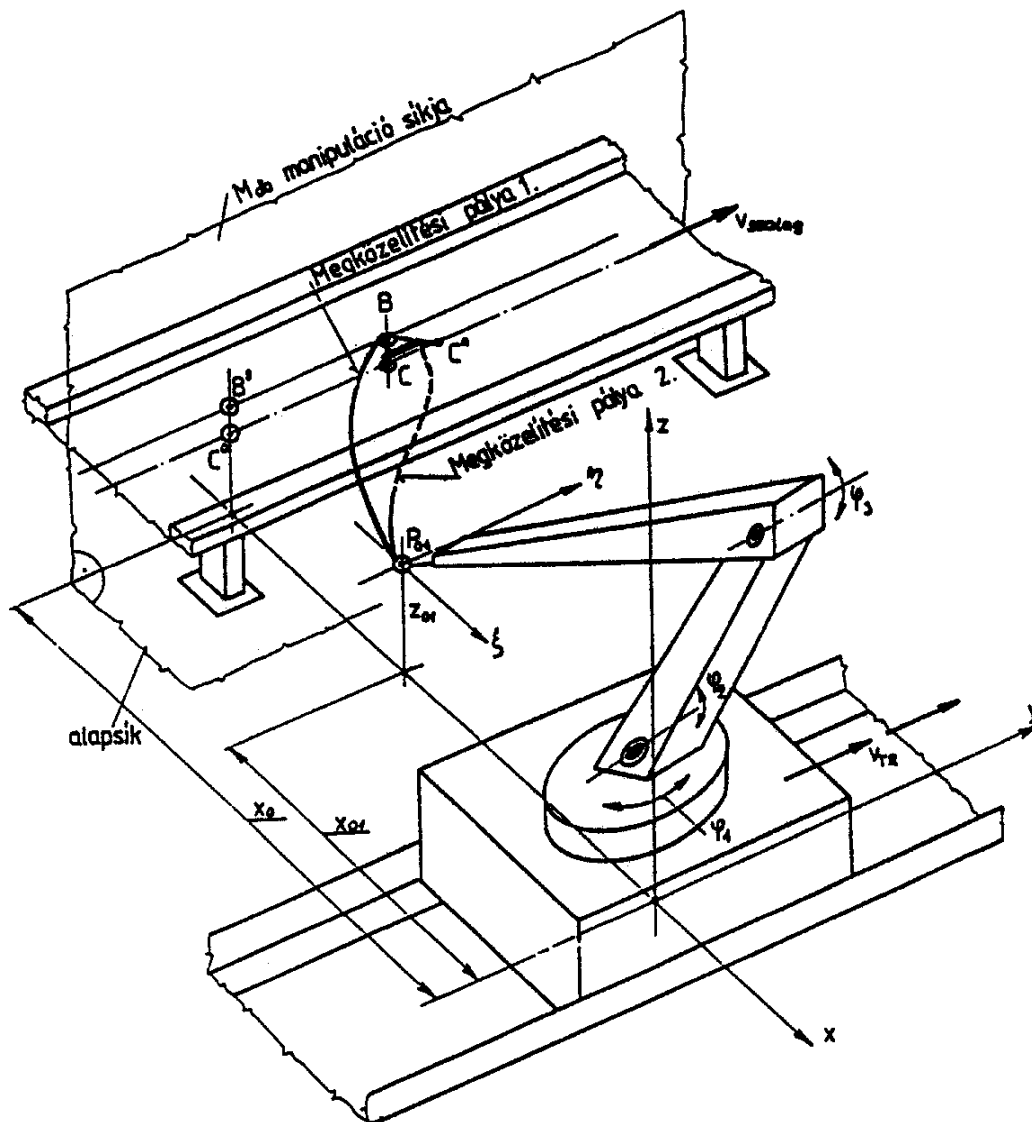


## MOZGÓ SZÁLLÍTÓSZALAGRA, SZERELŐSORRA TÖRTÉNŐ ADAGOLÁS



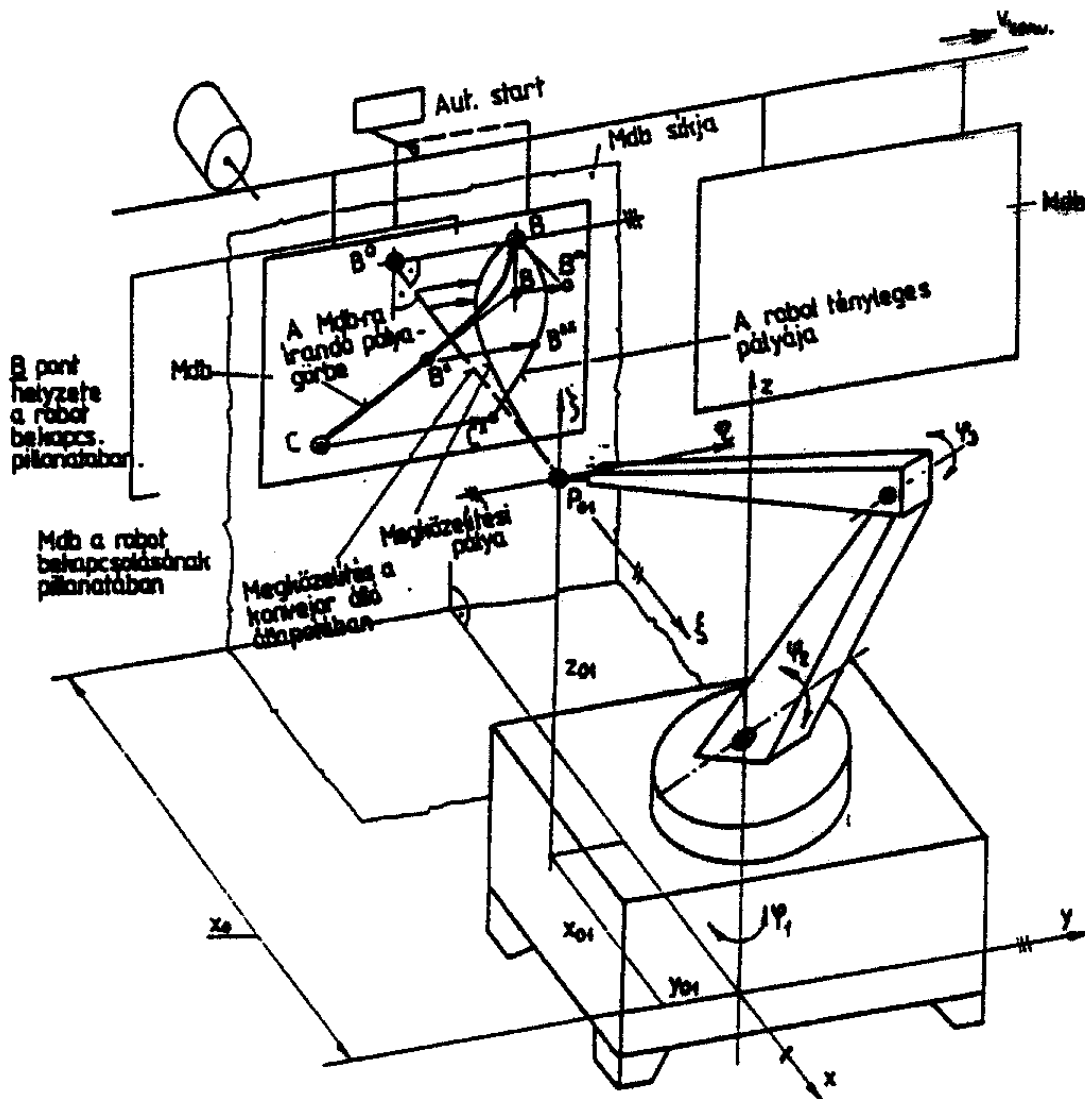


# MOZGÓ SZÁLLÍTÓSZALAG, SZERELŐSOR VAGY KONVEJOROS ANYAGMOZGATÓRENDSZER KISZOLGÁLÁSA TRUCK-MOZGÁSSAL KIEGÉSZÍTETT ROBOTTAL



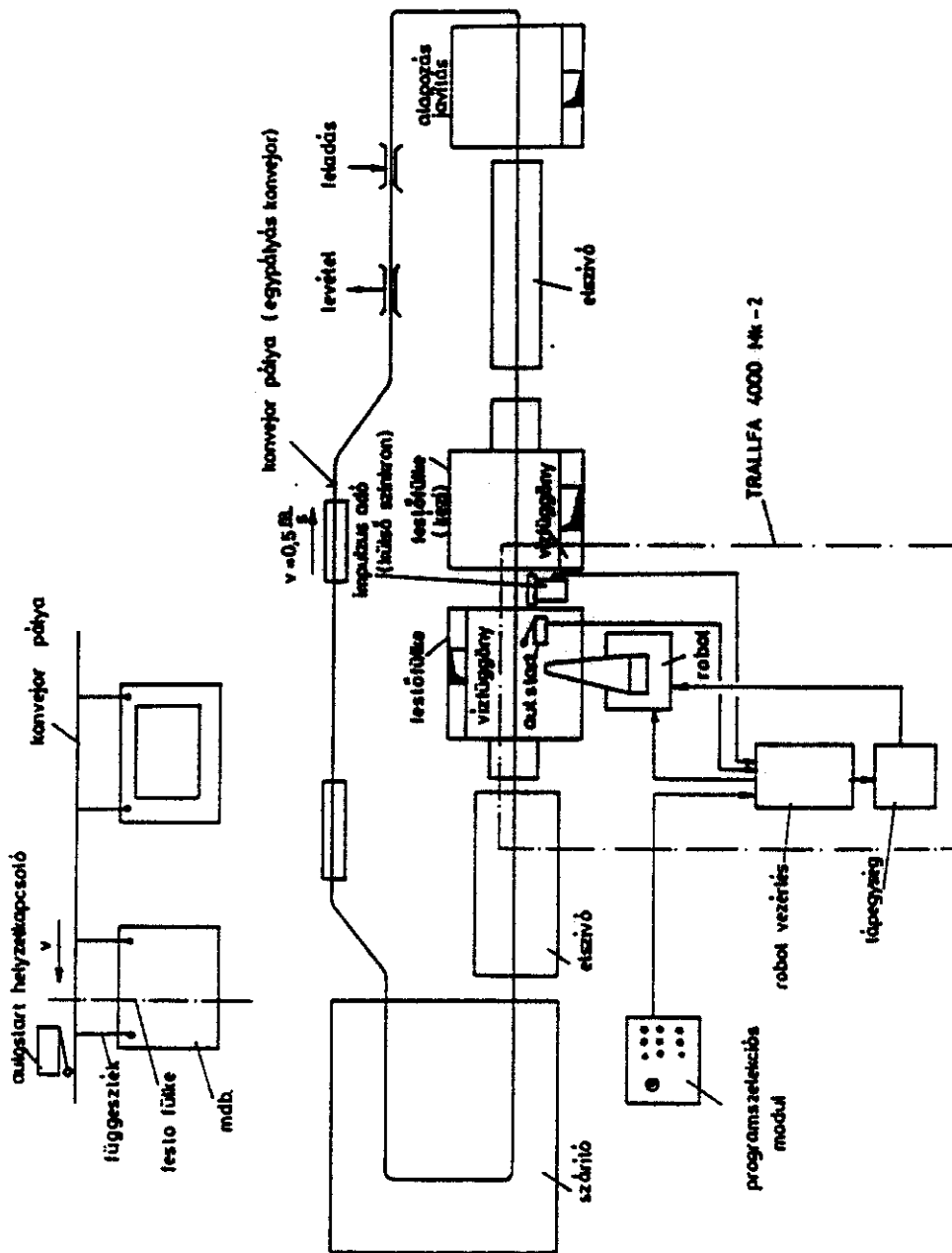


# MOZGÓ TÁRGYON LÉVŐ PÁLYAGÖRBE KEZDŐPONTJÁNAK MEGKÖZELÍTÉSE



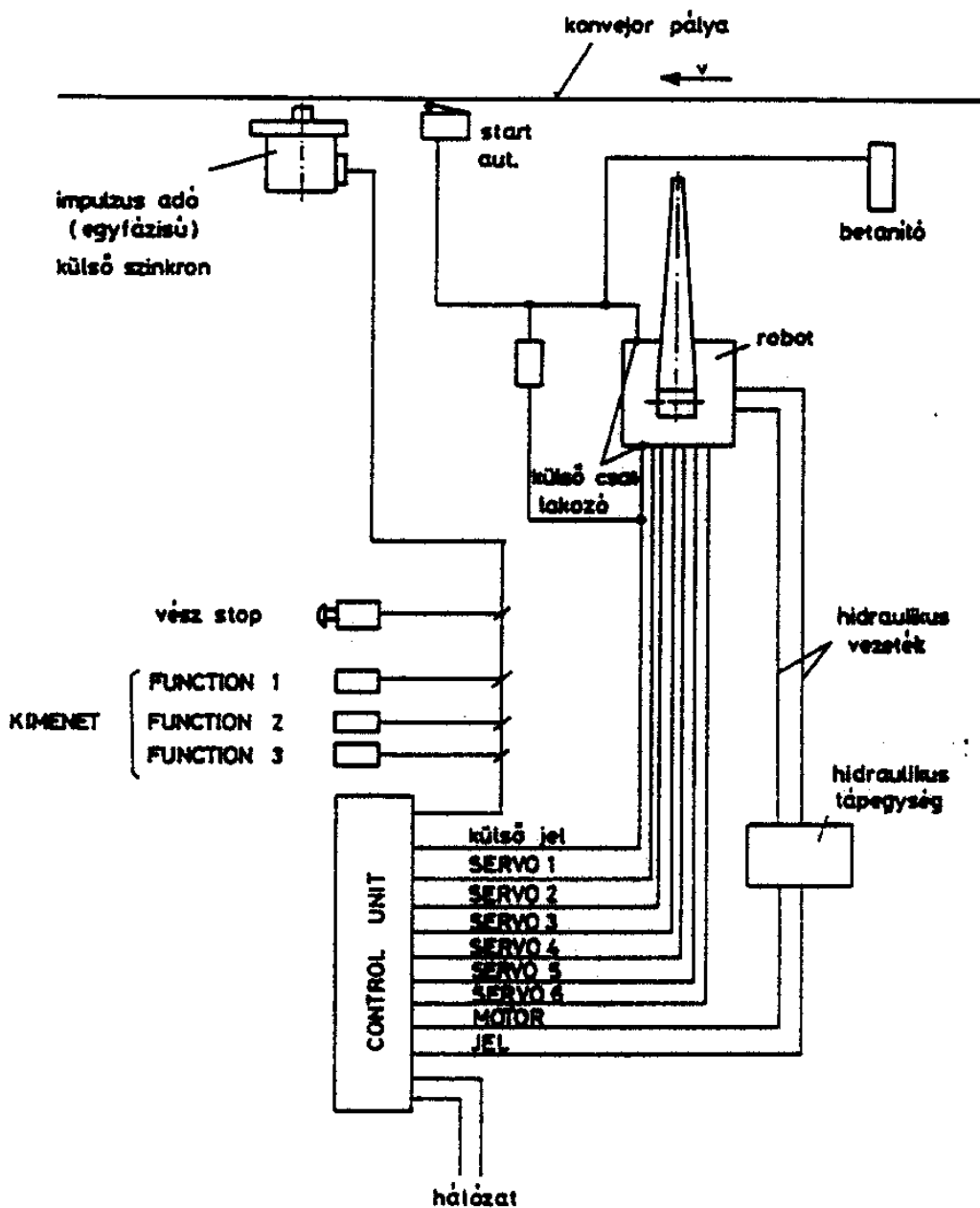


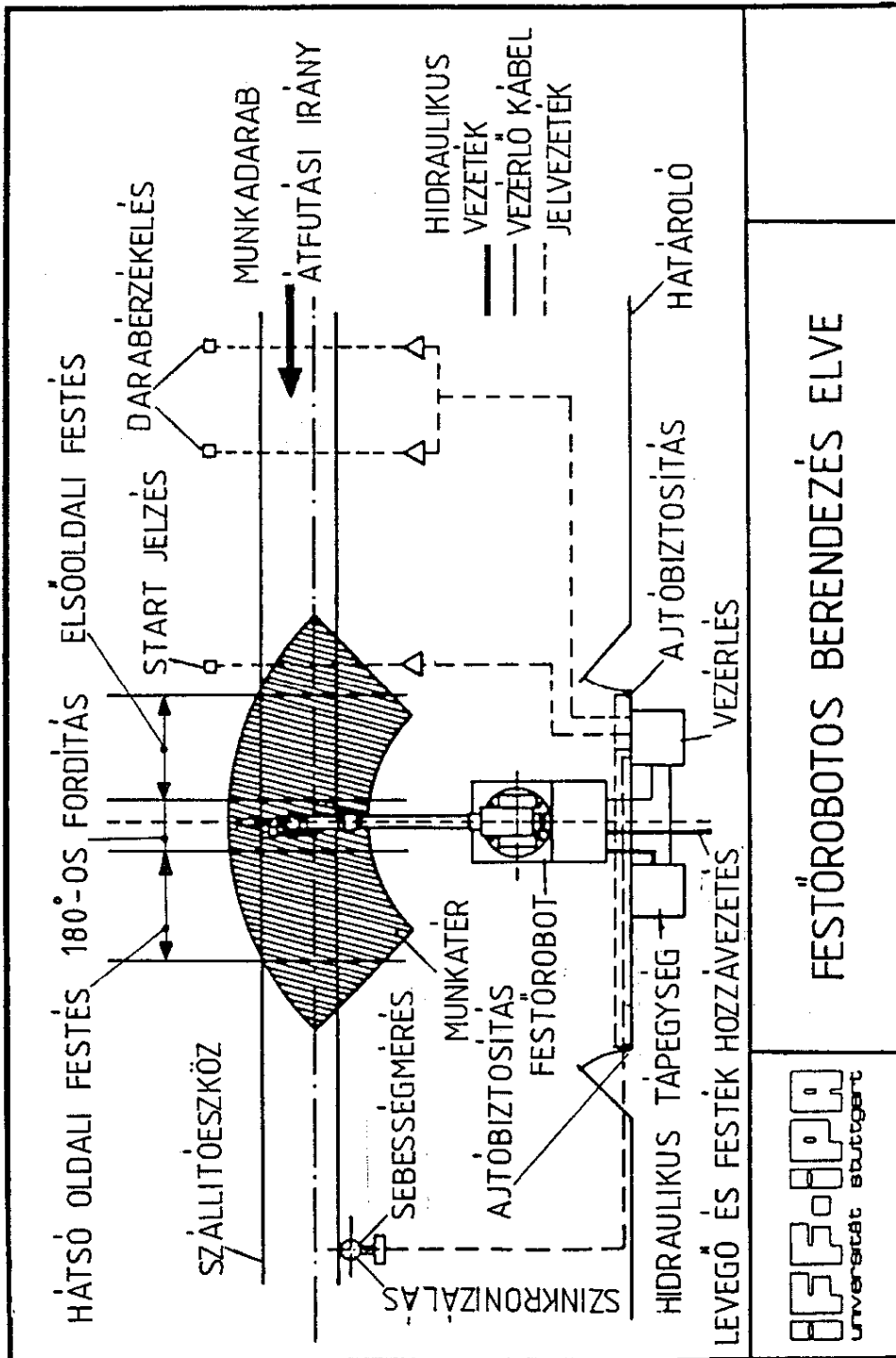
# ROBOTOS FESTŐBERENDEZÉS RENDSZERTECHNIKAI FELÉPÍTÉSE



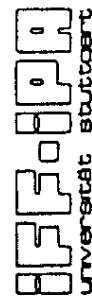


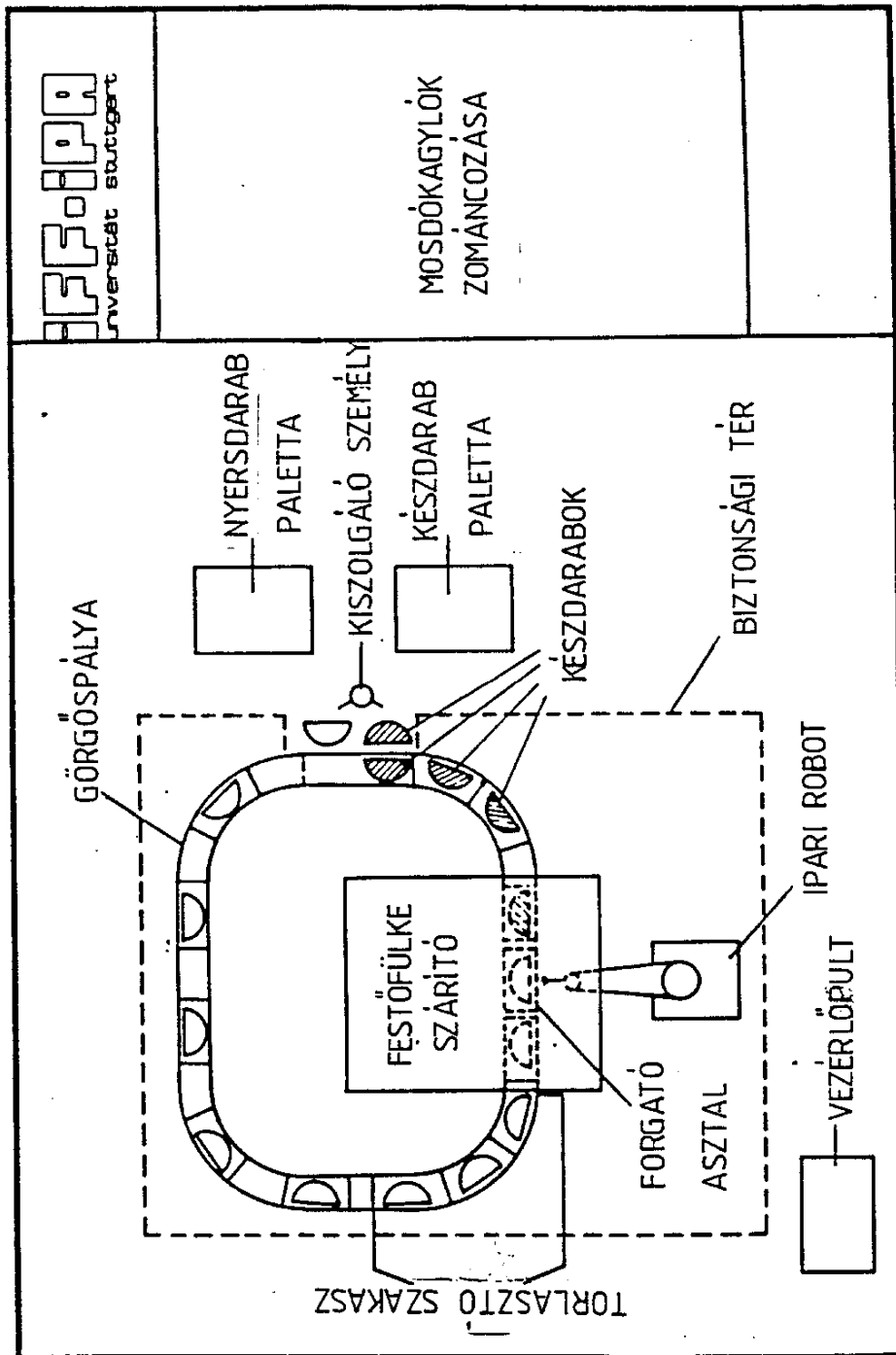
## ROBOT FESTŐRENDSZERHEZ ILLESZTÉSE





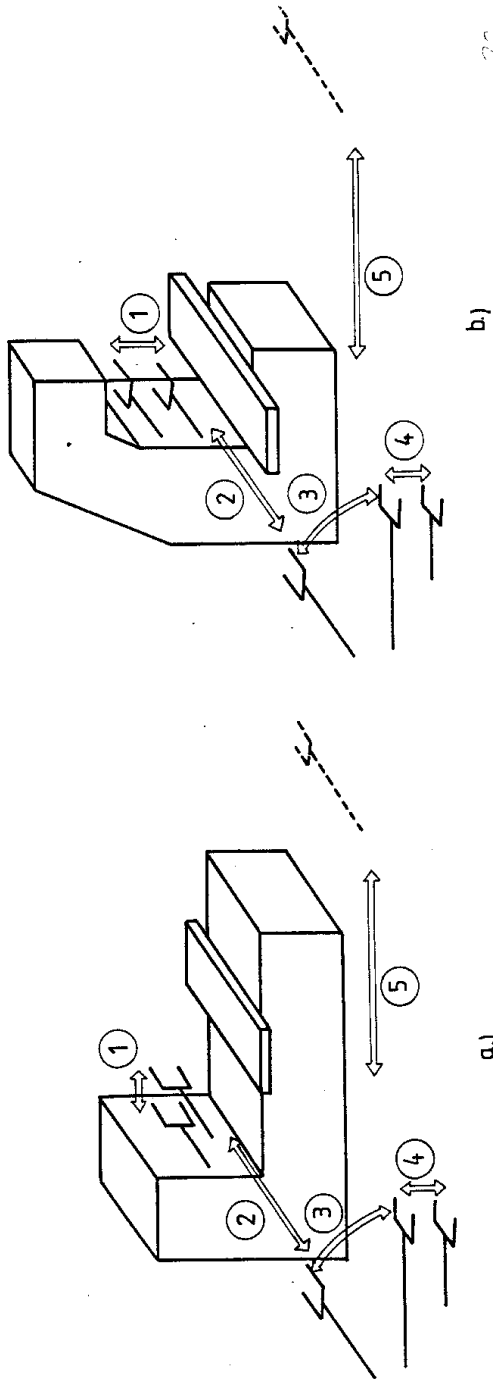
FESTŐROBOTOS BERENDEZÉS ELVE







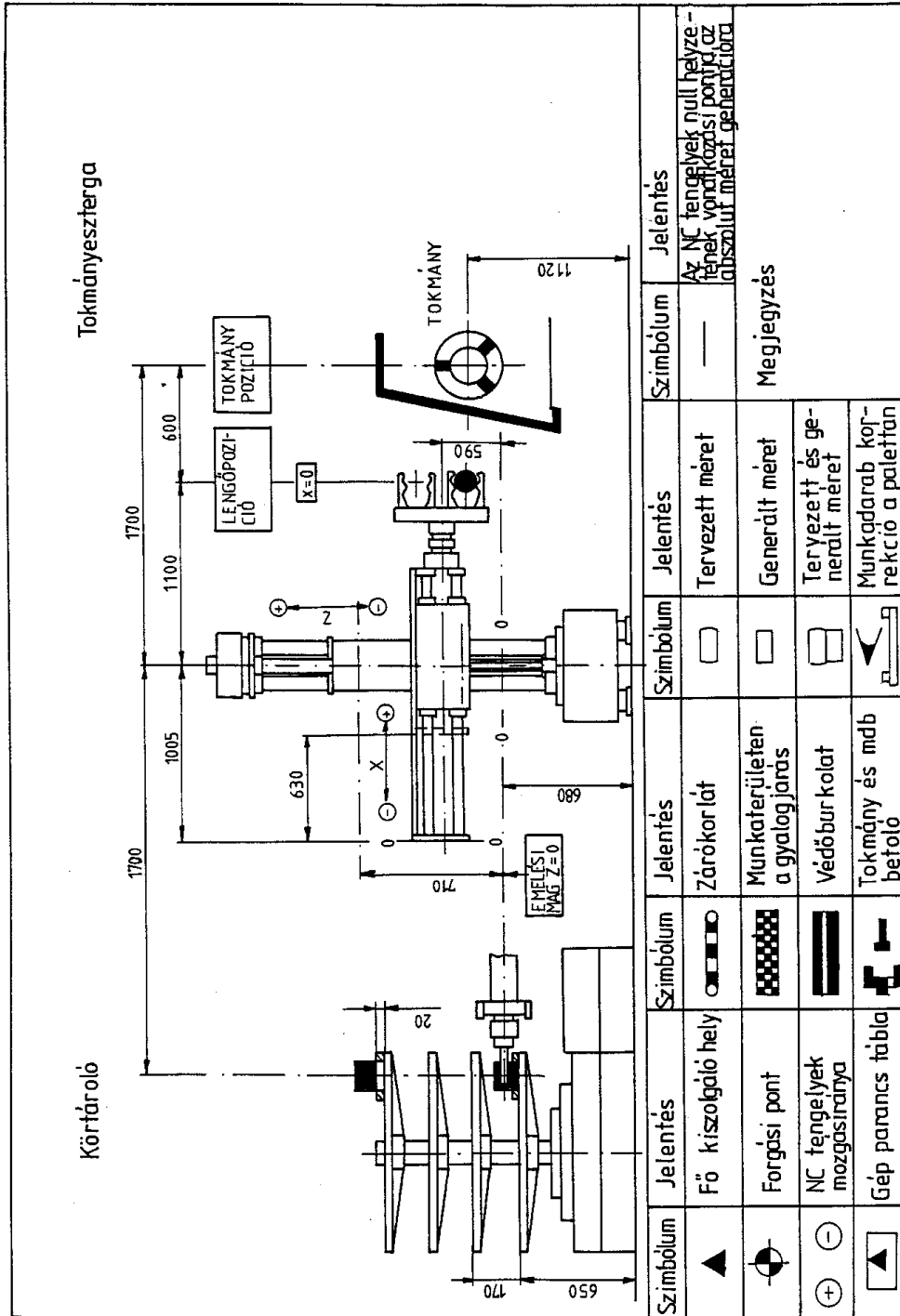
Gábor Dénes Főiskola







Gábor Dénes Főiskola



Szimbólum	Jelentés	Szimbólum	Jelentés	Szimbólum	Jelentés	Szimbólum	Jelentés
▲	Fő kiszolgáló hely	◻	Zárókorlát	◻	Tervezett méret	—	Az NC tengelyek null helyze- fű feltek vonatkozású pontja, az abszolút méret generációra
⊙	Forgási pont	▣	Munkaterületen a gyatogjárás	◻	Generált méret	Megjegyzés	
⊕	NC tengelyek mozgásiránya	▣	Védőburkolat	▣	Tervezett és ge- nerált méret		
◀	Gép parancs tábla	▣	Tokmány és mdb betoló	▣	Munkadarab köf- rekcio a palettan		