

# Robottechnika

## 1. Bevezetés

---

Ballagi Áron  
Automatizálási Tanszék

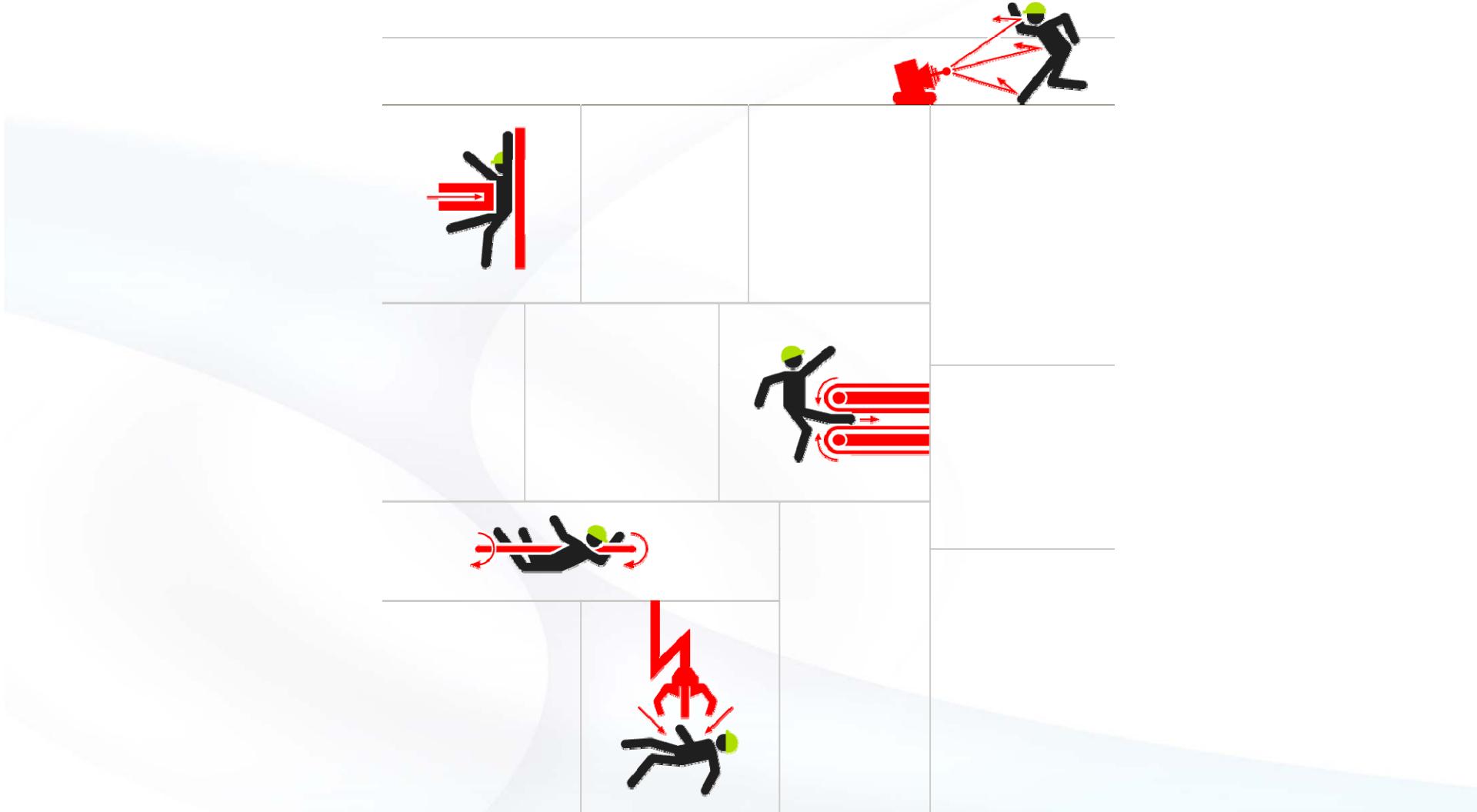
- Ballagi Áron
  - tanszékvezető-helyettes, egyetemi adjunktus
  - Automatizálási Tsz. C701, 3461
  - Autonóm és Intelligens Robotok Laboratórium (AIR)
    - ÚT111, 3155
  - ballagi@sze.hu
- Konzultáció: Szerda 16 – 17 óra, ÚT111
- Fórum: robtech2015t

- Pozíció és orientáció leírása
- Robot koordináta rendszerek, koordináta transzformációk
- Kinematikai modellek, inverz kinematika
- Dinamikai leírás
- Gyakorlat:
  - ABB robotok általános megismerése
  - Robotok paraméterezése, betanítási lépések
  - Robot programozás alapjai

- Kulcsár Béla: Robottechnika, LSI Informatikai Oktatóközpont, Budapest, 1999.
- Lantos Béla: Robotok irányítása, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2002.
- Hegedűs Zoltán, Robotprogramozás, GAMF, Kecskemét, 2004.
- John J. Craig, Introduction to Robotics – Mechanics and Control, Pearson Education International, New Jersey, 2005.
- J. Norberto Pires, Industrial Robots Programming, Springer, New York, 2007.
- Phillip John McKerrow, Introduction to Robotics, Addison-Wesley, Sydney 1991.
- Peter Corke: Robotics, Vision And Control: Fundamental Algorithms In Matlab (Springer Tracts In Advanced Robotics), Springer, New York, 2011.

- Órák látogatása ☺
- A félév végi Zh megírása – megajánlott jegy
- Vizsga – írásbeli, elmélet és gyakorlat
- Projekt, TDK, Szakdolgozat

# Baleset- és tűzvédelmi oktatás



# Mi az a robot?

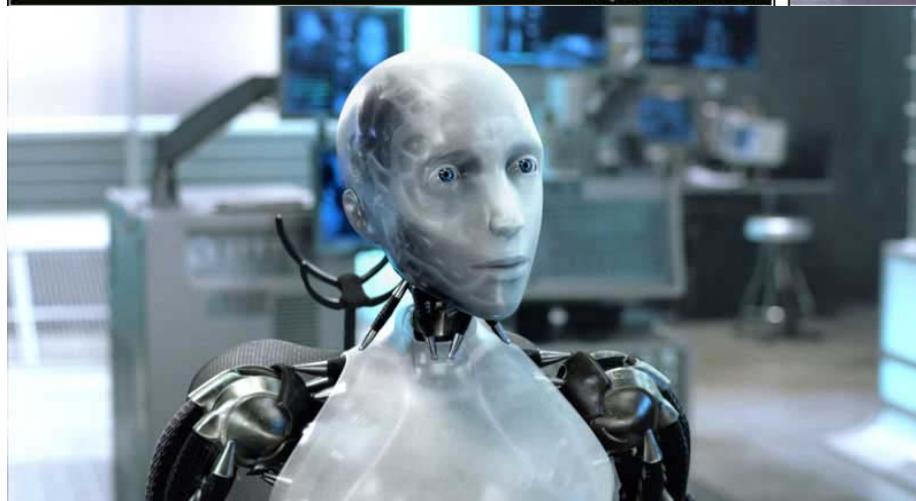
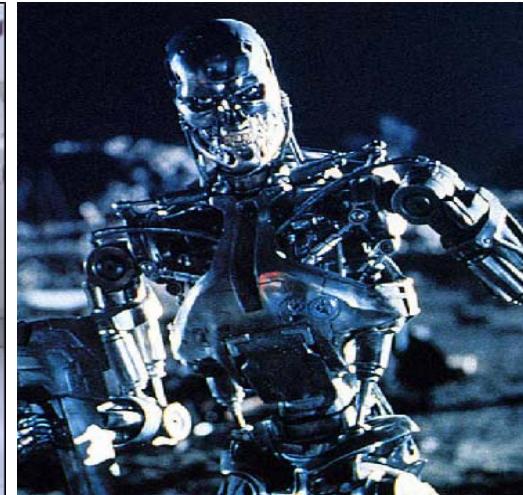


## Robot mint kifejezés

- Karel Čapek: Rossum's Universal Robots (RUP) – 1920
  - gépi szörnyek – androidok



## SciFi robotok



- A „filmes” robotok tulajdonságai:
  - Természetes mozgásúak, gyorsabbak, erősebbek és ügyesebbek mint mi
  - Extra intelligensek
  - Határozott személyiséggel rendelkeznek
  - Érzelmeik kimutatására képesek
  - Természetes nyelvet beszélnek és problémamentesen értenek minket
  - Gyakran át akarják venni az uralmat a földön

## Ipari robotok – robot karok

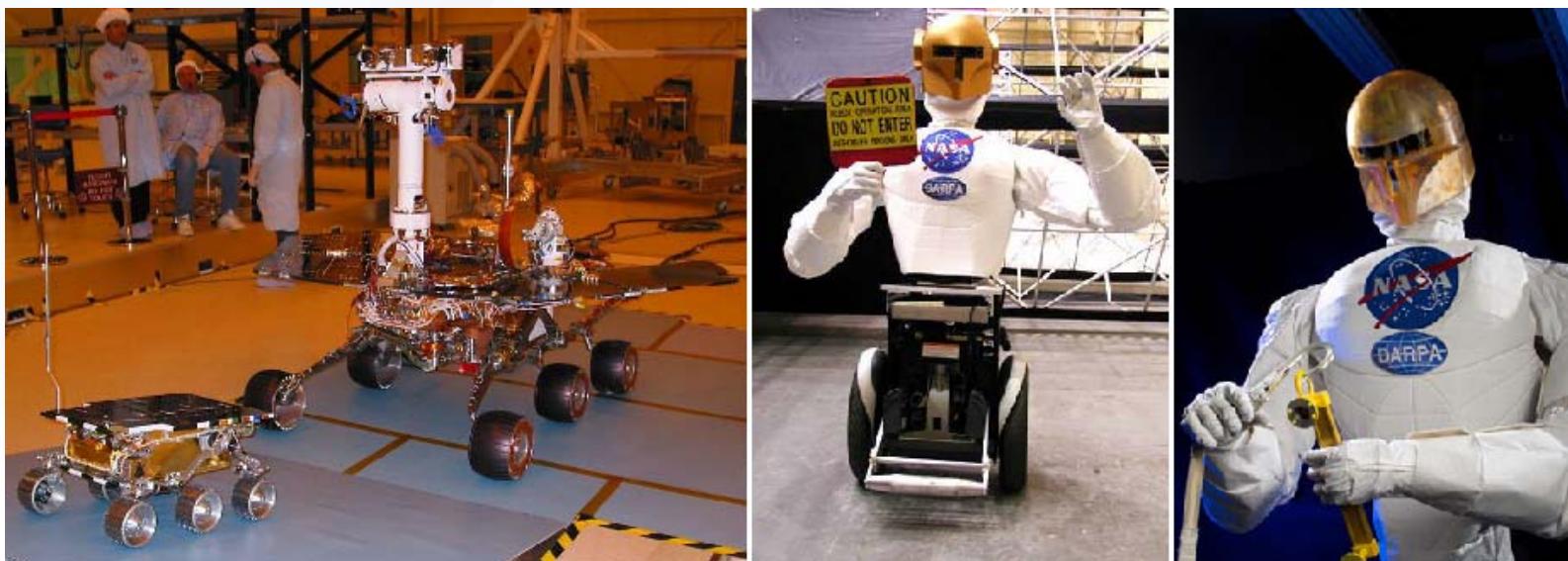
- VDI 2860: Az ipari robot univerzálisan állítható többtengelyű mozgó automata, melynek mozgás-egymásutánisága (utak és szögek) szabadon – mechanikus beavatkozás nélkül – programozható és adott esetben szenzorral vezetett, megfogóval, szerszámmal vagy más gyártó eszközzel felszerelhető, anyagkezelési és technológiai feladatra felhasználható.
  - Tengelyek alatt a programozott mozgásokat kell érteni (több tengely – több programozott mozgás)



- A robotok felhasználásának fő irányai manapság:
  - Ipari robotok
  - Katonai robotok
  - Úrkutatási robotok
  - Asszisztens, szerviz robotok
    - Ház tartási robotok
    - Szórakoztató robotok
  - Kutatási, oktatási robotok



- Nagy költségvetésű, magas potenciálú kutatási terület
- Extrém körülmények, extrém megbízható robotok



- Gyorsan fejlődő terület, a következő 20 - 25 év hozhat áttörést
  - Számtalan megoldás már napjainkban is:
    - Roomba takarító robot (iRobot Corporation)
    - RoboMower fűnyíró (Friendly Robotics)



## Szórakoztató robotok

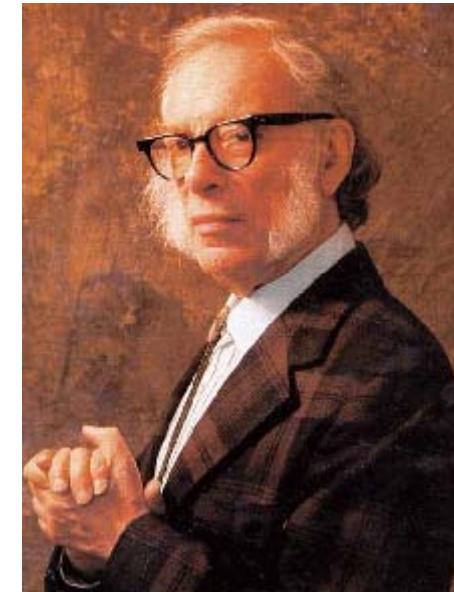


## Kutatási robotok

- Nagyon aktív kutatási terület
  - Új megoldások mellett a határtudományok gyűjtő helye
    - mechatronika
    - szenzorteknika
    - irányítástechnika
    - számítási intelligencia



- A vége lehet a Terminátor?
- Asimov törvényei:
  1. A robot nem árthat az embernek, és nem nézheti tétlenül, ha az embert veszély fenyegeti.
  2. A robot engedelmeskedni tartozik az emberek parancsainak, kivéve, ha ezek a parancsok az Első Törvénybe ütköznek.
  3. A robot köteles megvédeni magát mindaddig, amíg ez nem ütközik az Első vagy a Második Törvénybe.



- A JIRA (Japanese Industrial Robot Association) a következő osztályozást javasolja:
  - Class 1: Kézi vezérlésű eszközök
  - Class 2: Fix szekvenciájú robotok
  - Class 3: Változó szekvenciájú robotok
  - Class 4: Visszajátszó (playback) robotok
  - Class 5: Számvezérlésű (NC) robotok
  - Class 6: Intelligens robotok

# KÉRDÉS?

Köszönöm a figyelmet!

# Robottechnika

## 2. Ipari robotok

---

Ballagi Áron  
Automatizálási Tanszék

- IGM Robotrendszer Kft.
  - Hegesztőrobotok specialistája
  - <http://www.igm-group.com/hu>
- Max. 8 fő! – akiket tényleg érdekel a robotika (diplomamunka) !

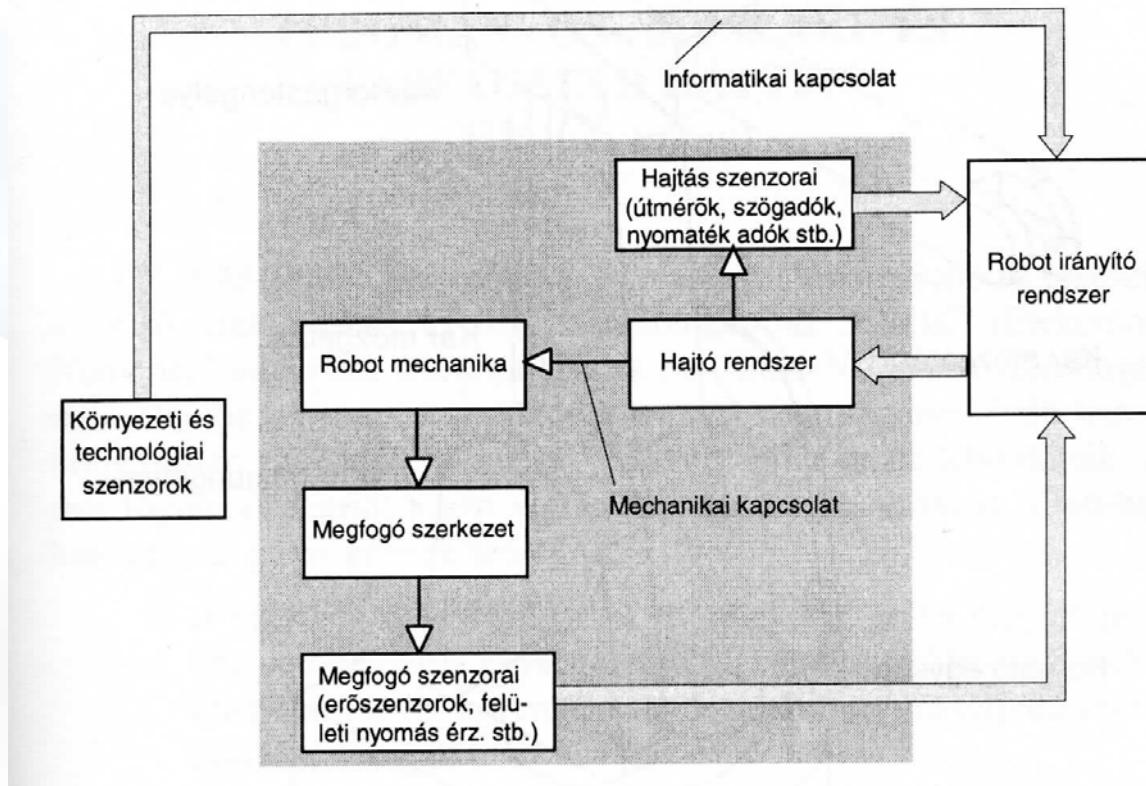


- SCILAB
  - Általános matematikai programozási, modellezési keretrendszer
  - „Matlab klón”
  - Ingyenes: <http://www.scilab.org/>
  - RTSX
    - Robottechnikai függvény gyűjtemény
    - Ingyenes: <http://scilab.ninja/rtsx/download/>
- RoKiSim
  - Kinematikai szimulátor
  - Látványos, könnyen kezelhető
  - Ingyenes: <http://www.paralemic.org/RoKiSim.html>

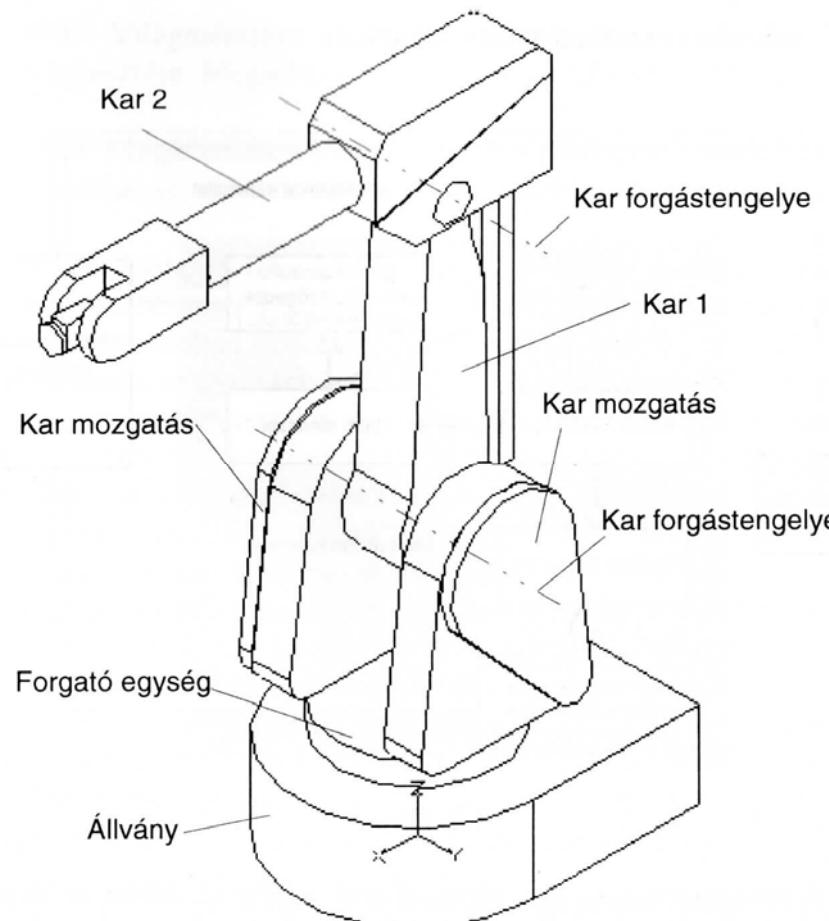
- ABB RobotStudio
  - ABB robotok off-line programozására
  - Profi robot szimulátor – a RobotWare-t is telepíteni kell
  - Liszenszhez kötött – a laborból kölcsönözhető
  - Letöltés: <http://new.abb.com/products/robotics/robotstudio>

- 1951. Teleoperátor - Goertz és Bergsland (amerikai szabadalom)
- 1954. Kétkaros portálrobot szabadalom – C.W. Kenwart
- 1959. Első sorozatgyártású ipari robot – Planet Co.
- **1960. Első Unimate robot (számjegy vezérlésű, hidraulikus hajtás)**
- 1966. Első festő robot – Trallfa Co.
- **1971. Stanford kar, tisztán villamos hajtású**
- 1973. Kísérleti programozási nyelvek , SIRI, WAVE, AL
- 1974. ASEA Irb6 és Cincinnati Milacron T3 villamos hajtású robotok
- 1975. Első szerelési művelet – Olivetti SIGMA
- 1976. Rugalmas csukló – Charles Draper labor
- **1978. PUMA robot – Unimation**
- **1979. SCARA robot – Yamanashi Egyetem**
- 1981. Robotok direkt hajtása – Carnegie-Mellon Egyetem
- 1984. WABOT-2 antropomorph robot – Waseda Egyetem
- 1985. Harmadik generációs – autonóm mobil robotok megjelenése
- 1995. Robot platformok

# Robot funkcionális felépítése

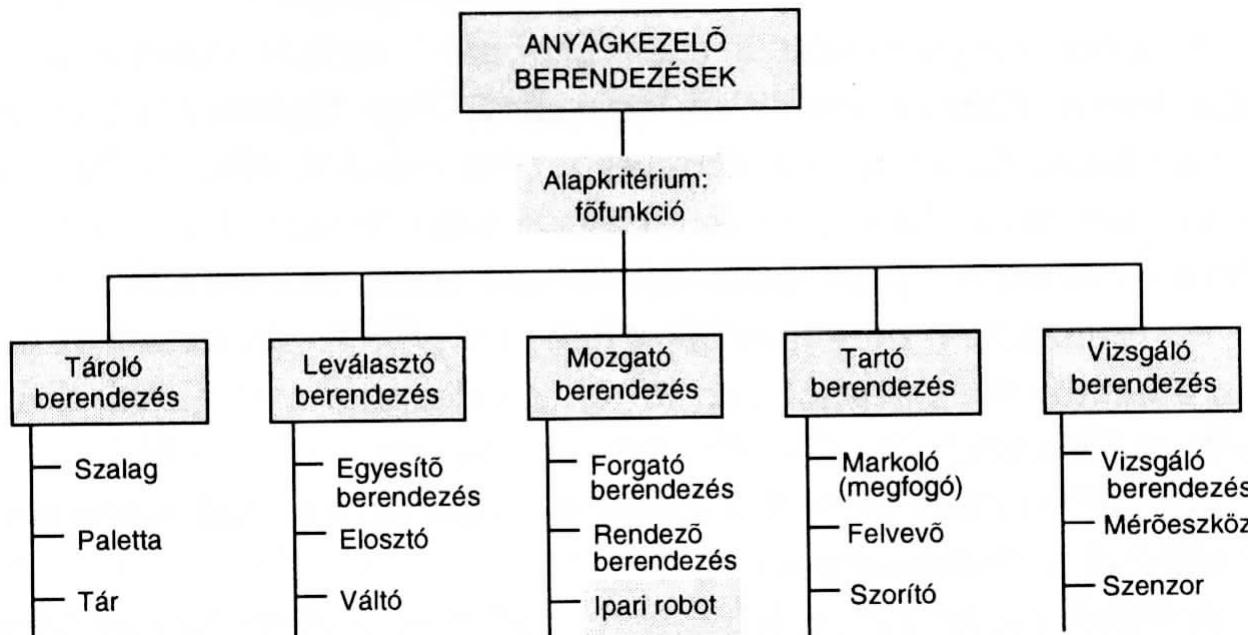


## Karmozgás leképezése



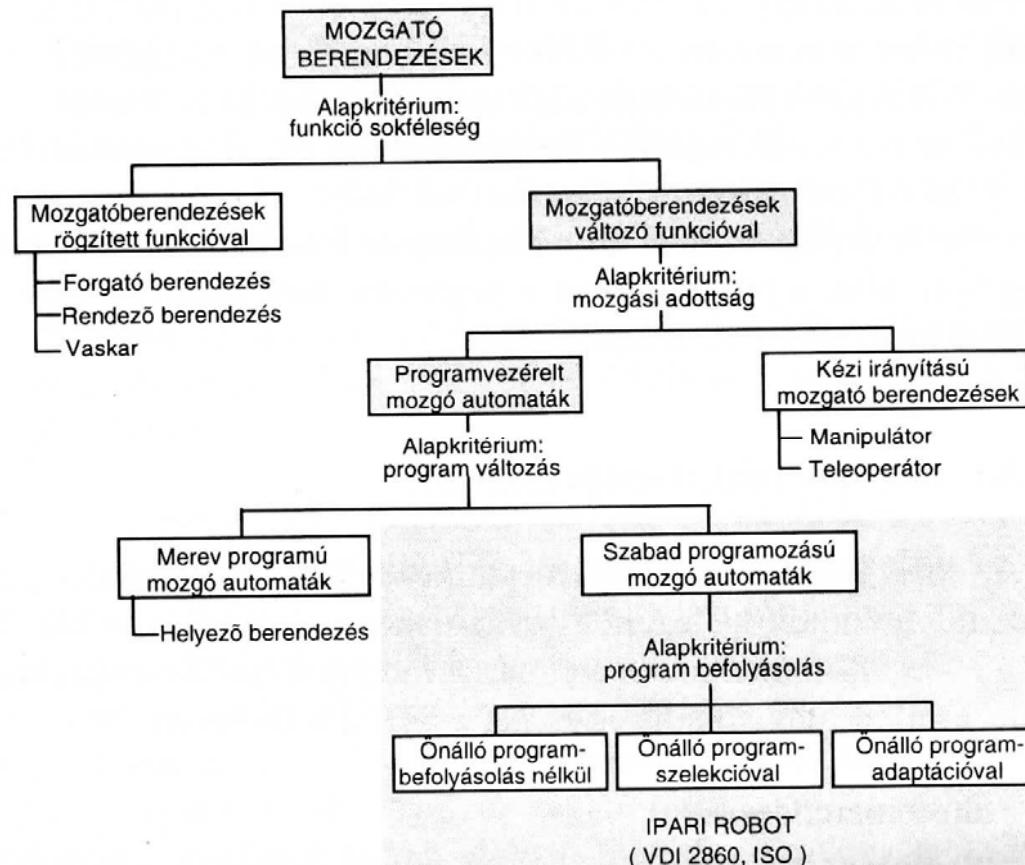
# Robotok funkcionális elemzése

- Anyagkezelő berendezések fő funkcionális egységei (VDI 2860)

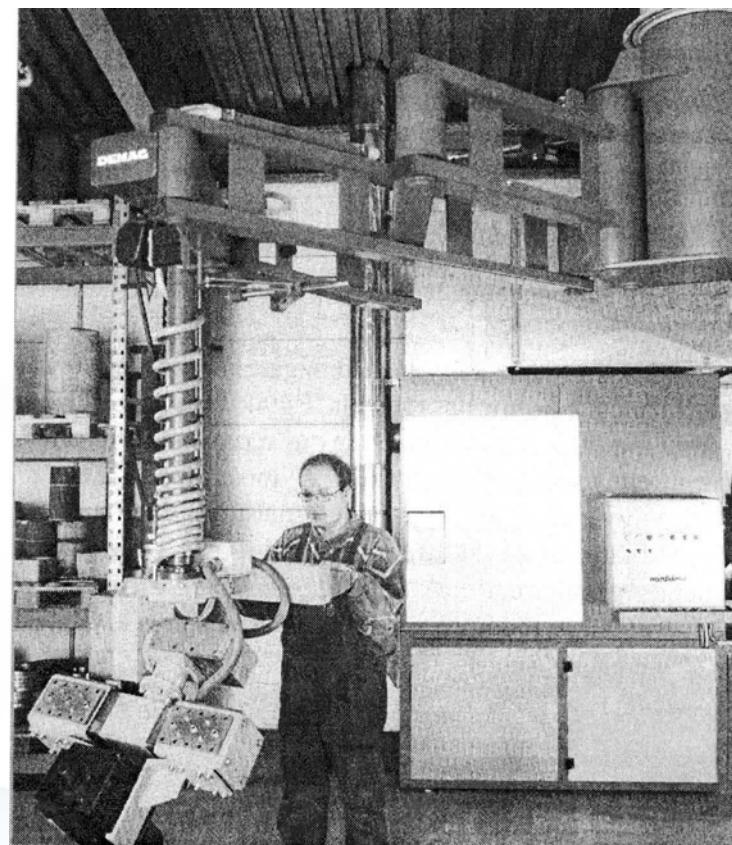
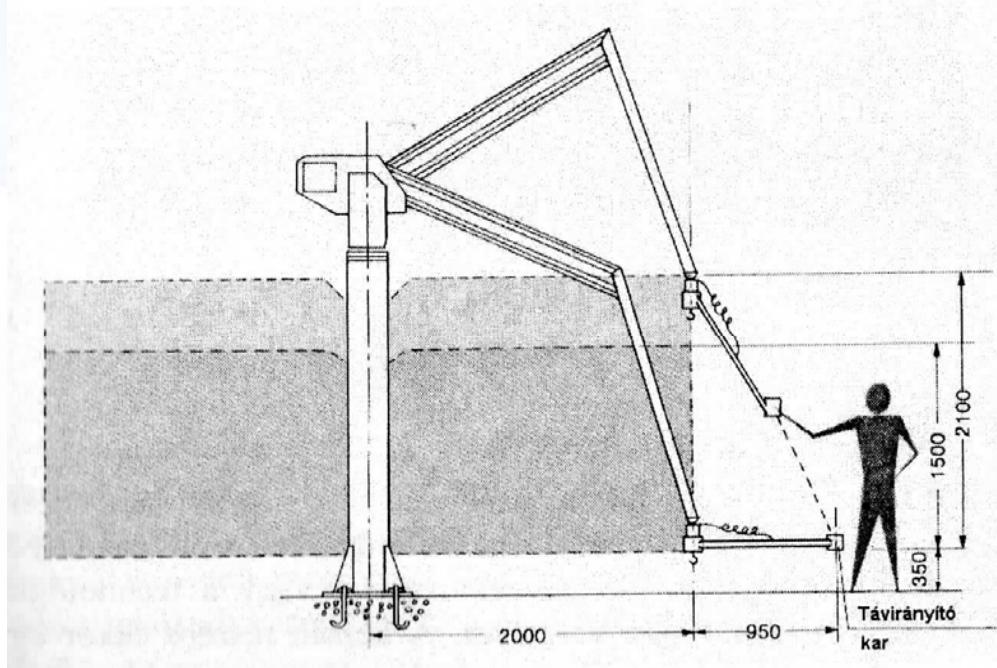


# Robotok funkcionális elemzése

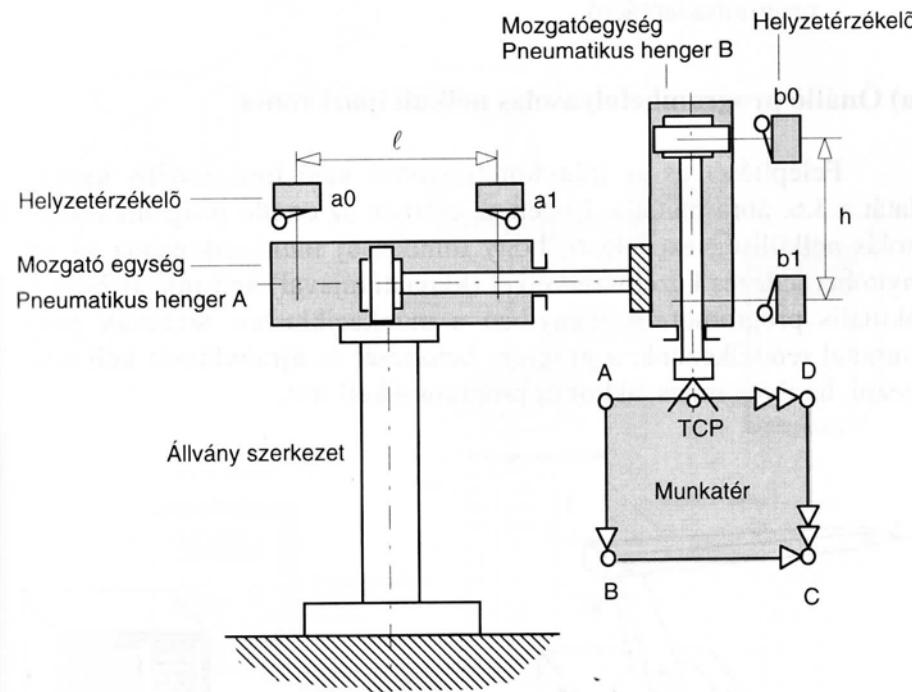
## ● Mozgató berendezés elemzése



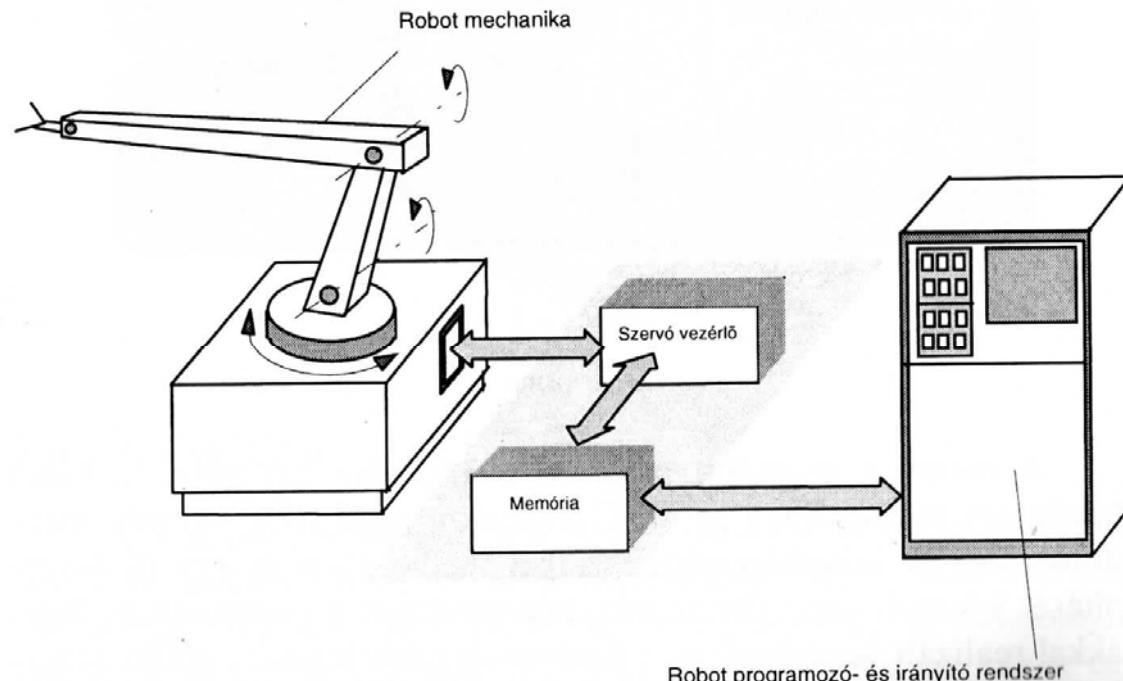
# Manipulátor, teleoperátor



- A programvezérlés csak egyetlen mozgásciklus végrehajtására alkalmas



# Ipari robot irányítása

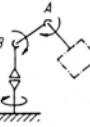


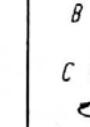
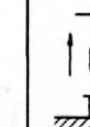
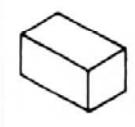
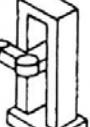
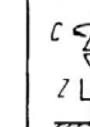
- Mechanikai testek (karok, tagok) + kinematikai kényszerk
- Kinematikai kényszer általában:
  - forgó (**Rotáció**)
  - egyenes vonalú mozgás (**Transzláció**)
- A pozíciómozgás általában három tagú robotmechanikával valósul meg.
  - $2^3 = 8$  egymástól független változatban kapcsolható egymáshoz

## A tagok összekapcsolási változatai

- **RRR**
- RTR
- **TRR**
- **RRT**
- TRT
- **RTT**
- TTR
- **TTT**
- Robot osztályok
  - derékszögű koordinátarendszerű **TTT**
  - henger koordinátarendszerű **RTT**
  - gömbi koordinátarendszerű **RRT**
  - csuklós rendszerű
    - függőleges síkú csuklókaros **RRR**
    - vízszintes síkú csuklókaros **TRR**

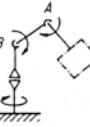
# Robot osztályok (kinematikai felépítés szerint)

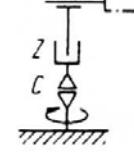
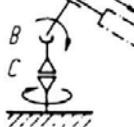
Kinematikai jelleg	Képi nézet	Kinematikai felépítés	Munkatér
Csuklókaros (függőleges síkú)			
Derékszögű koordinátás			
Csuklókaros (vízszintes síkú)			
Henger koordinátás			
Gömbi koordinátás			

Kinematikai jelleg	Képi nézet	Kinematikai felépítés	Munkatér
Csuklókaros (függőleges síkú)			
Derékszögű koordinátás			
Csuklókaros (vízszintes síkú)			



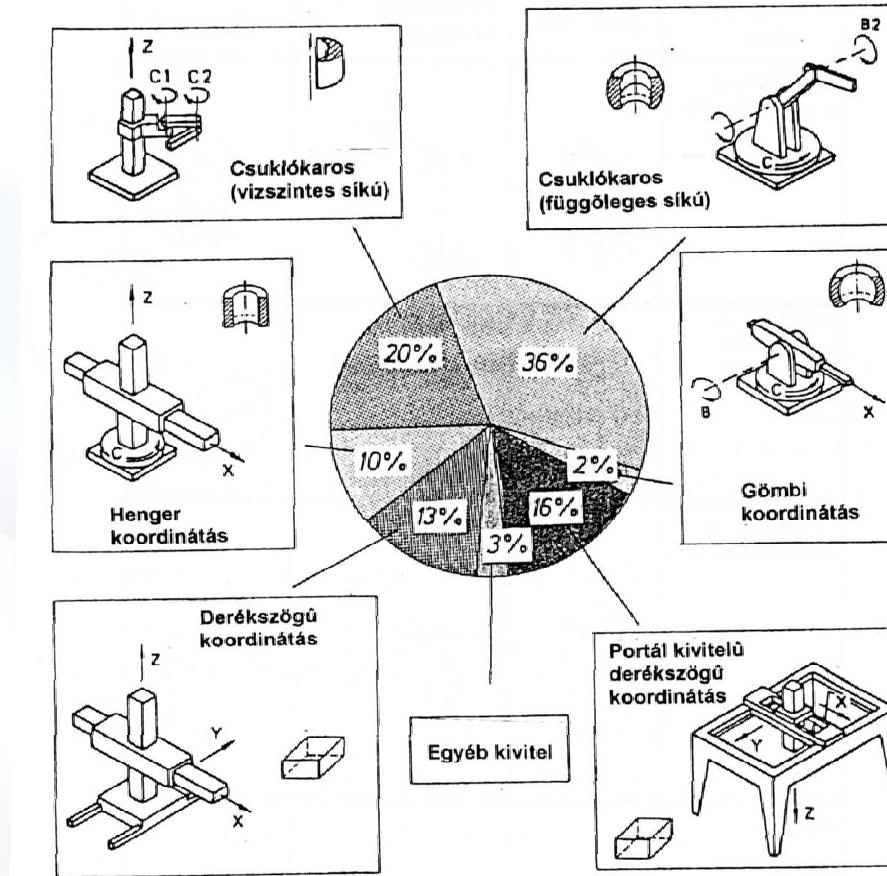
# Robot osztályok (kinematikai felépítés szerint)

Kinematikai jelleg	Képi nézet	Kinematikai felépítés	Munkatér
Csuklókaros (függőleges síkú)			
Derékszögű koordinátás			
Csuklókaros (vízszintes síkú)			
Henger koordinátás			
Gömbi koordinátás			

Henger koordinátás			
Gömbi koordinátás			



# Egyes osztályok százalékos megoszlása

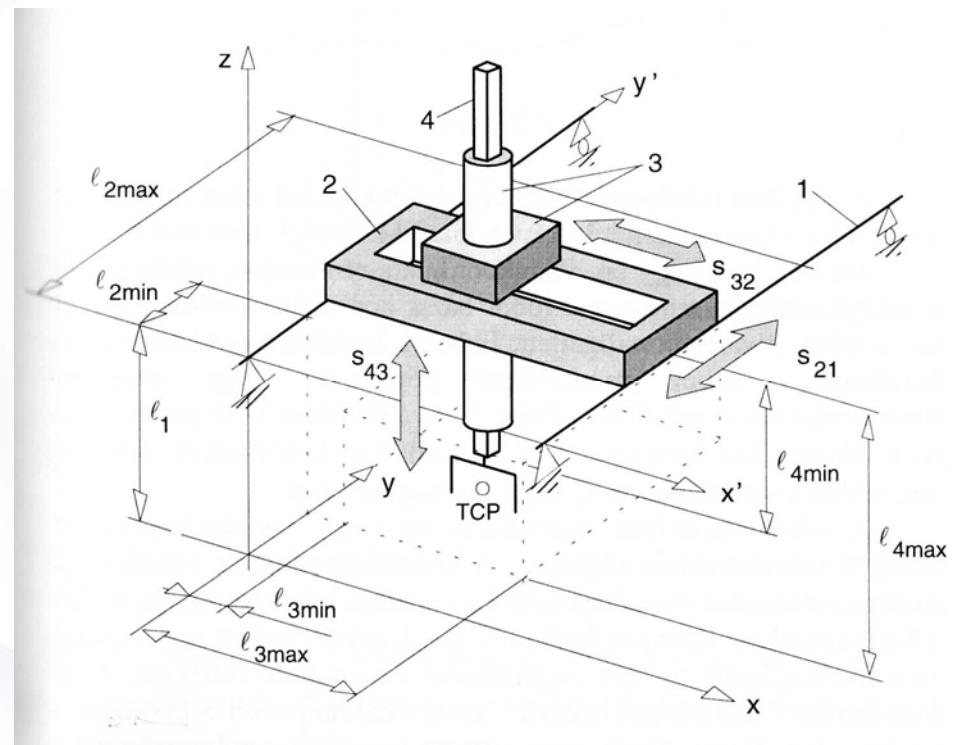


# Robotok mechanikai felépítése



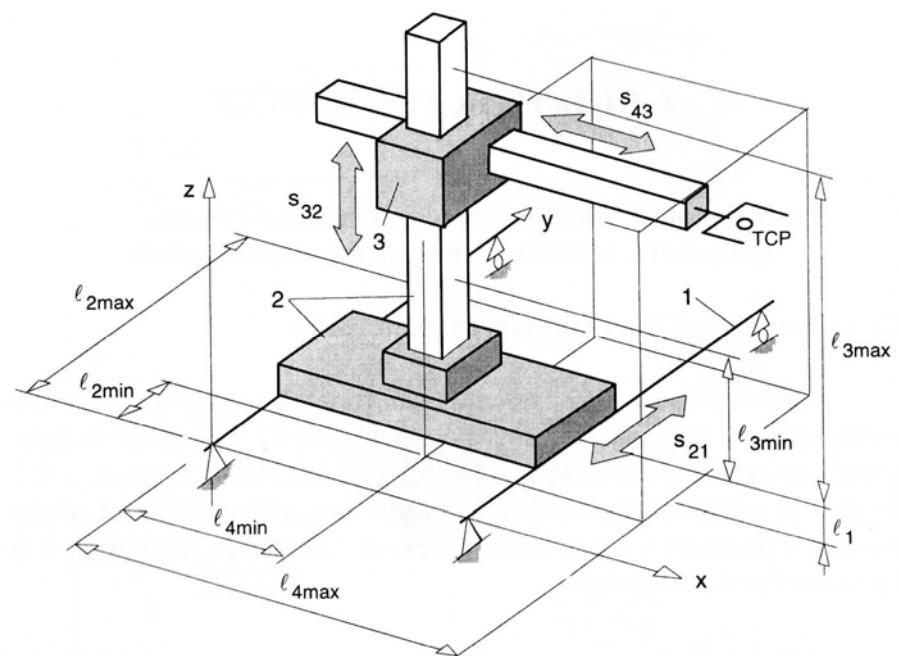
# Derékszögű koordinátarendszerű robot

- Portál robot

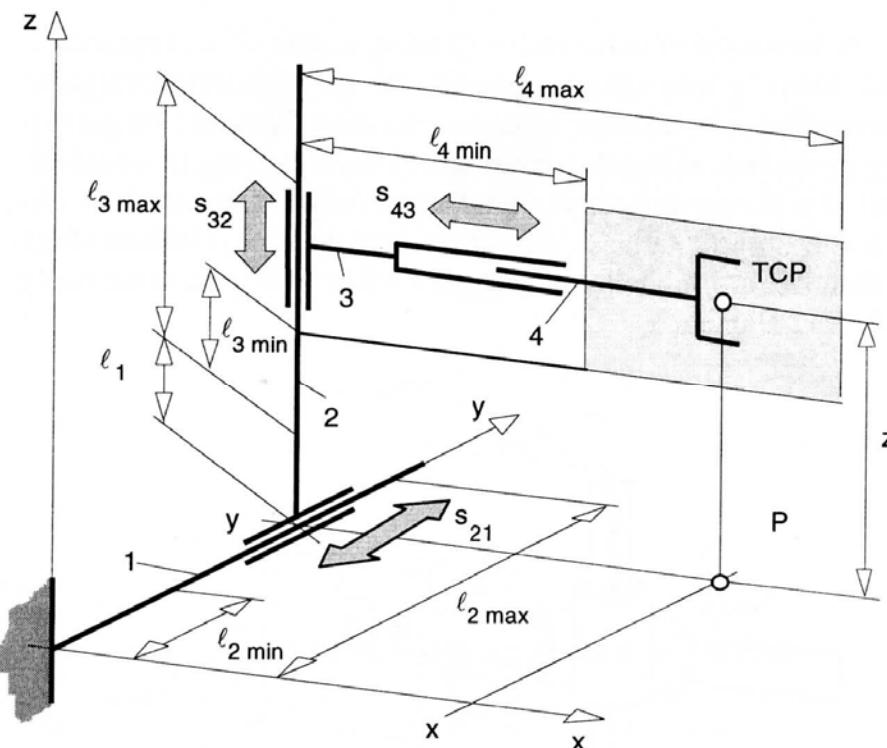


# Derékszögű koordinátarendszerű robot

- Álló rendszerű



# Derékszögű koordinátarendszerű robot



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

$$y = l_{2\min} + s_{21}$$

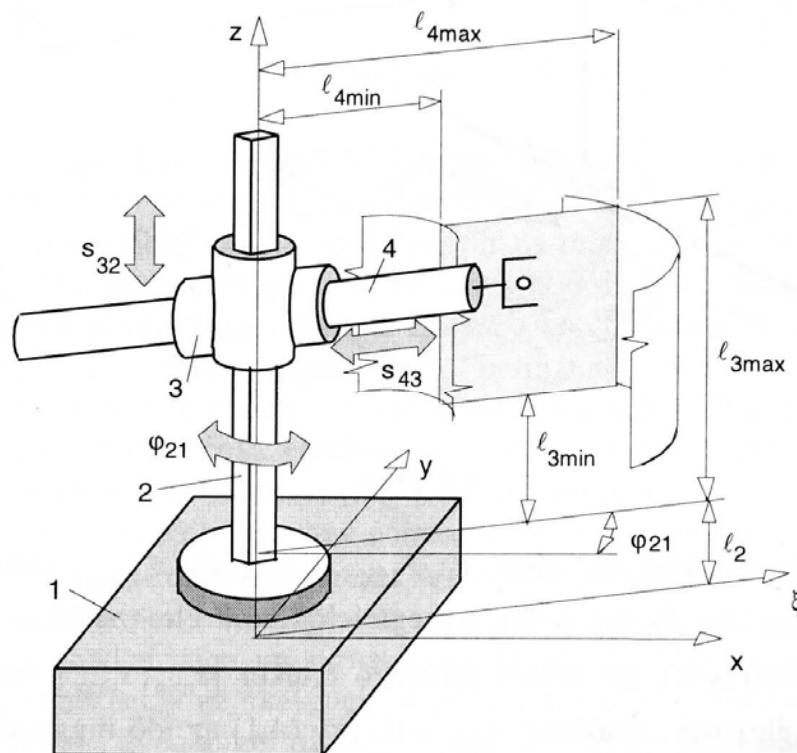
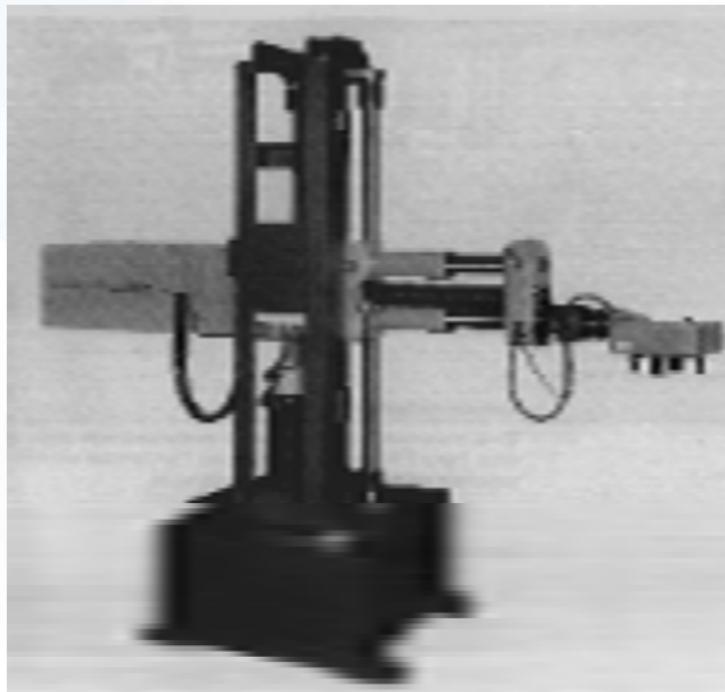
$$z = l_1 + l_{3\min} + s_{32}$$

$$x(t) = l_{4\min} + s_{43}(t)$$

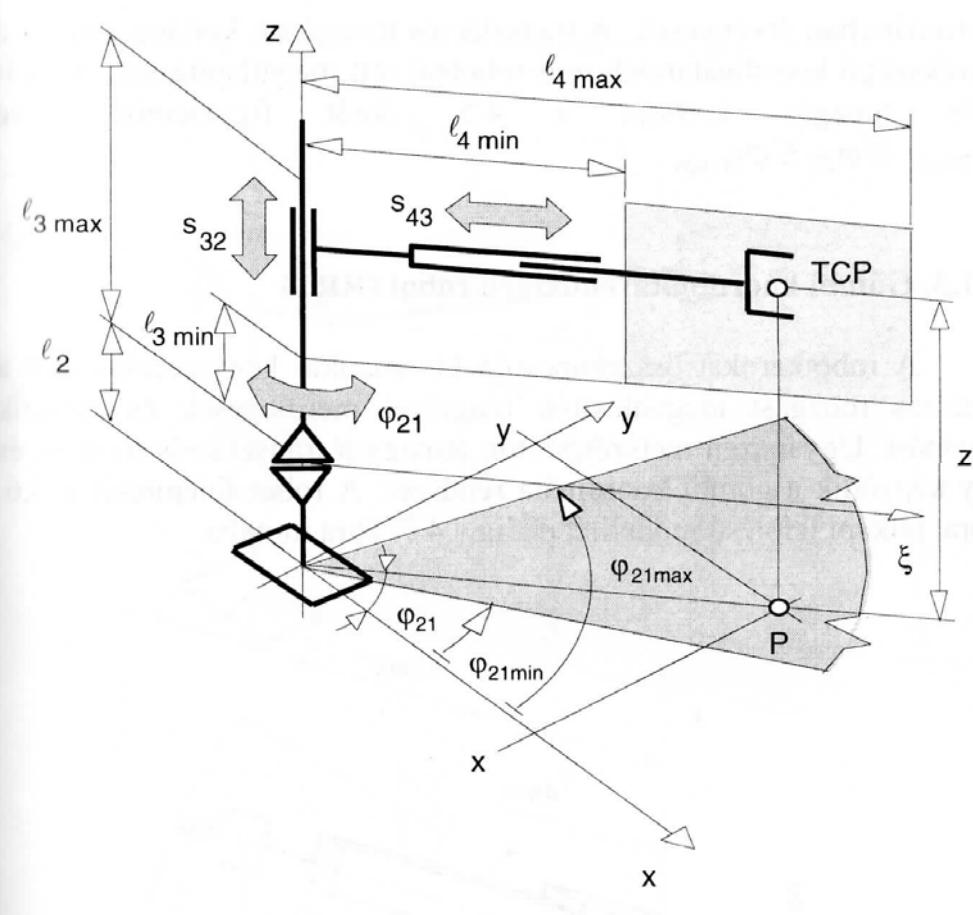
$$y(t) = l_{2\min} + s_{21}(t)$$

$$z(t) = l_1 + l_{3\min} + s_{32}(t)$$

# Henger koordinátarendszerű robot (RTT)



# Henger koordinátarendszerű robot (RTT)



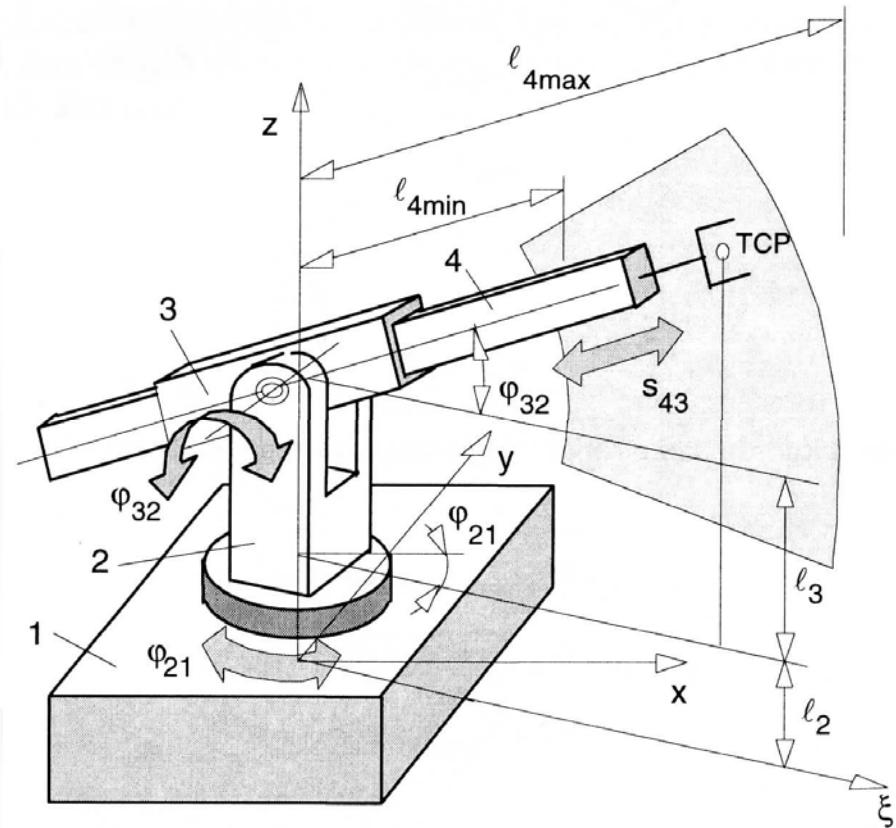
$$x = (l_{4\min} + s_{43}) \cos \varphi_{21}$$

$$y = (l_{4\min} + s_{43}) \sin \varphi_{21}$$

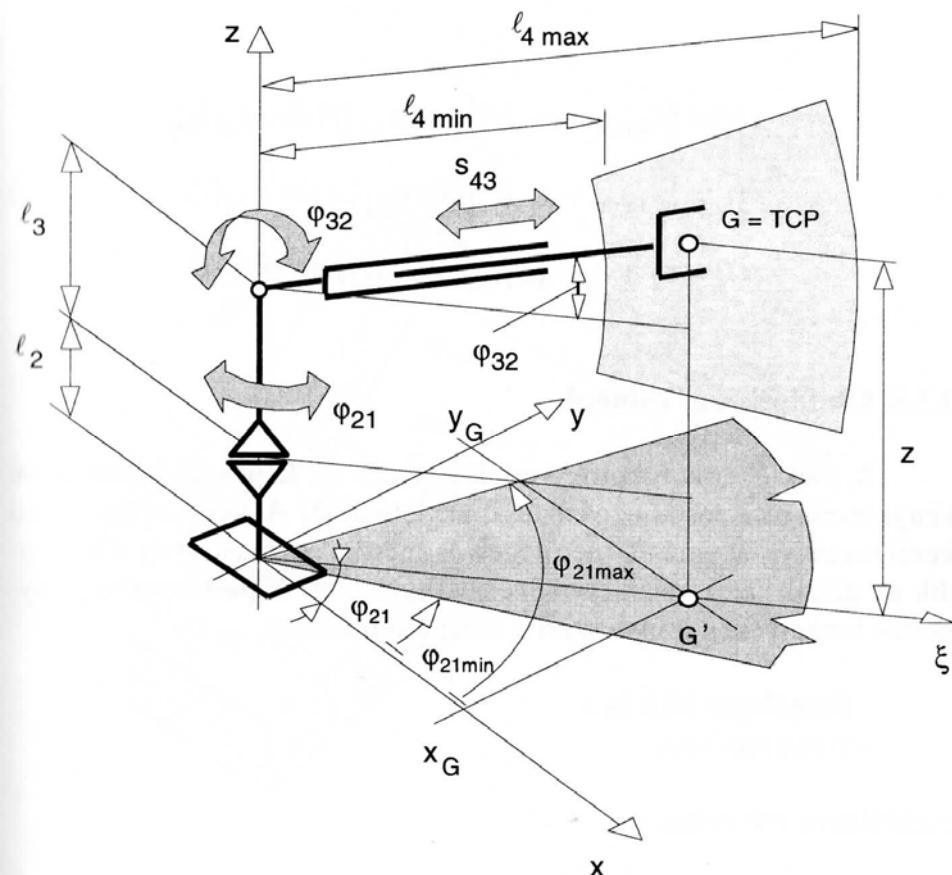
$$z = l_2 + l_{3\min} + s_{32}$$

$$\varphi_{21\min} \leq \varphi_{21} \leq \varphi_{21\max}$$

# Gömbi koordinátarendszerű robot (RRT)



# Gömbi koordinátarendszerű robot (RRT)



$$x = (l_{4\min} + s_{43}) \cos \varphi_{32} \cos \varphi_{21}$$

$$y = (l_{4\min} + s_{43}) \cos \varphi_{32} \sin \varphi_{21}$$

$$z = l_2 + l_3 + (l_{4\min} + s_{43}) \sin \varphi_{32}$$

$$\varphi_{21\min} \leq \varphi_{21} \leq \varphi_{21\max}$$

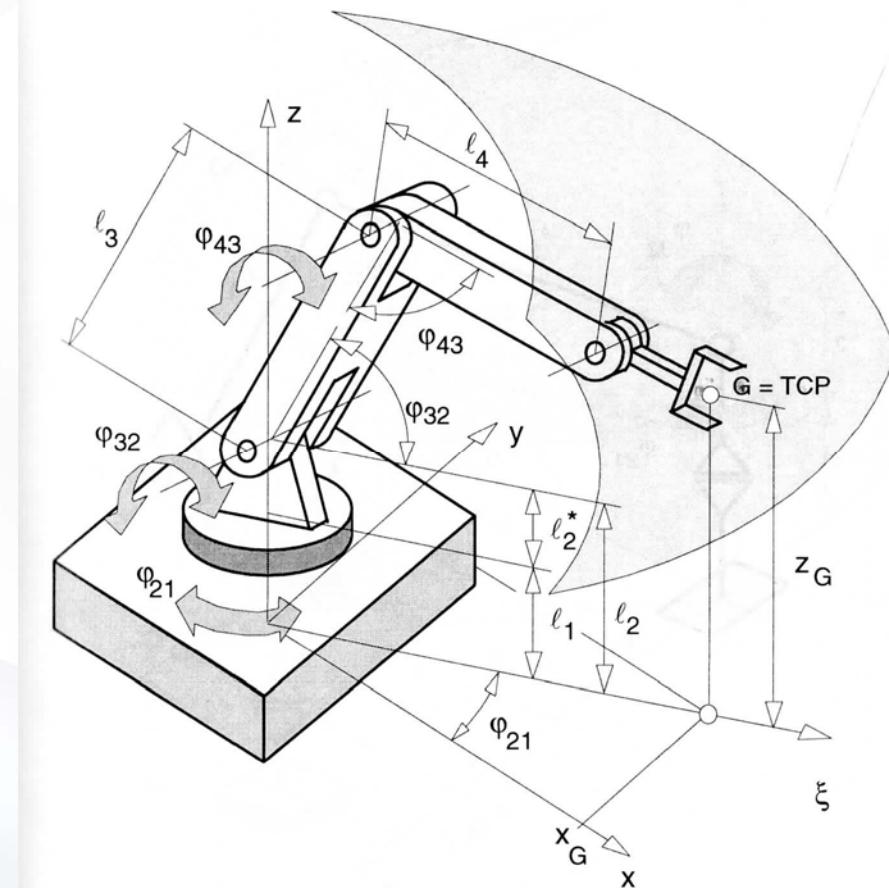
$$\varphi_{32\min} \leq \varphi_{32} \leq \varphi_{32\max}$$

$$x(t) = (l_{4\min} + s_{43}(t)) \cos \varphi_{32}(t) \cos \varphi_{21}(t)$$

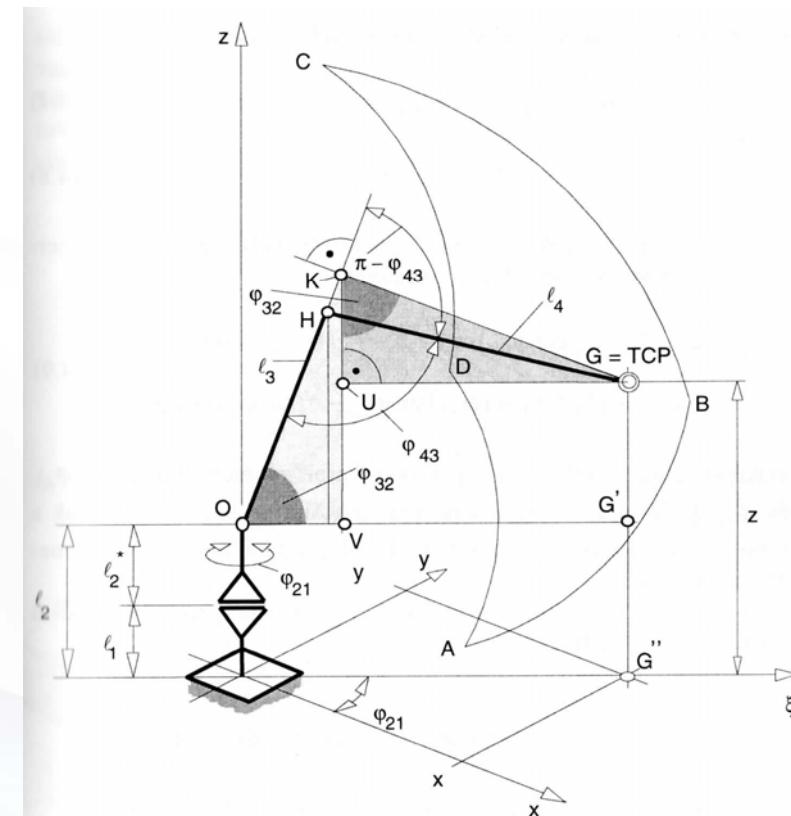
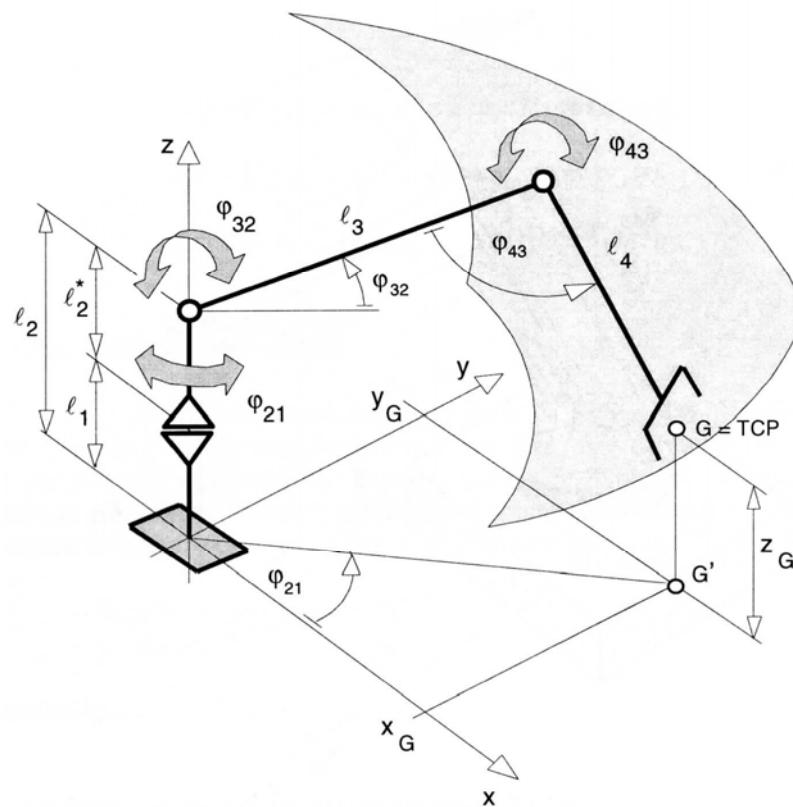
$$y(t) = (l_{4\min} + s_{43}(t)) \cos \varphi_{32}(t) \sin \varphi_{21}(t)$$

$$z(t) = l_2 + l_3 + (l_{4\min} + s_{43}(t)) \sin \varphi_{32}(t)$$

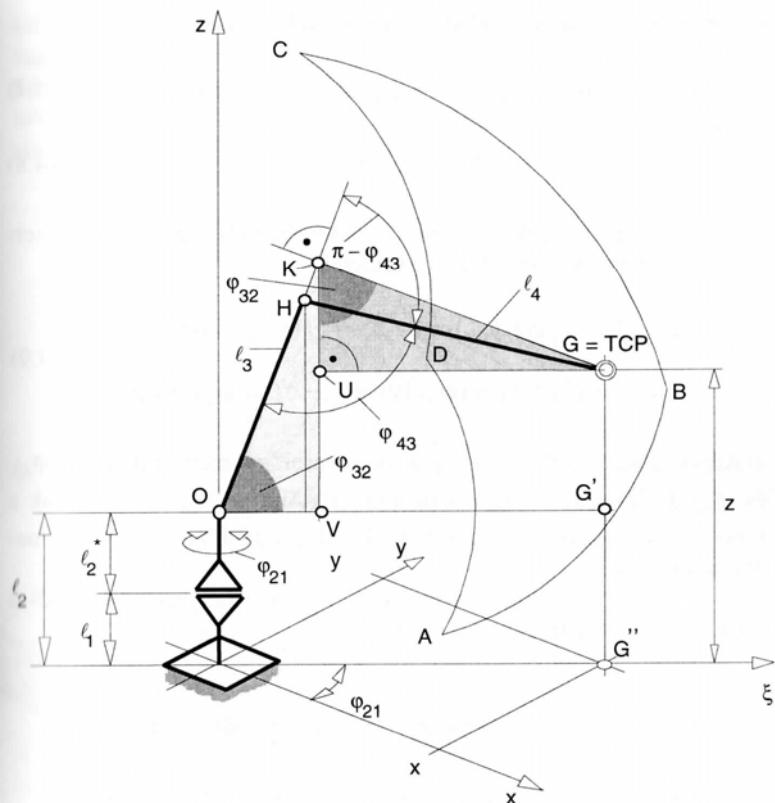
- Függőleges síkú csuklókaros robotok (RRR)



- Függőleges síkú csuklókaros robotok (RRR)



- Függőleges síkú csuklókaros robotok (RRR)



$$\xi = (l_3 + \overline{HK}) \cos \varphi_{32} + \overline{KG} \sin \varphi_{32}$$

$$z = l_2 + (l_3 + \overline{HK}) \sin \varphi_{32} - \overline{KG} \cos \varphi_{32}$$

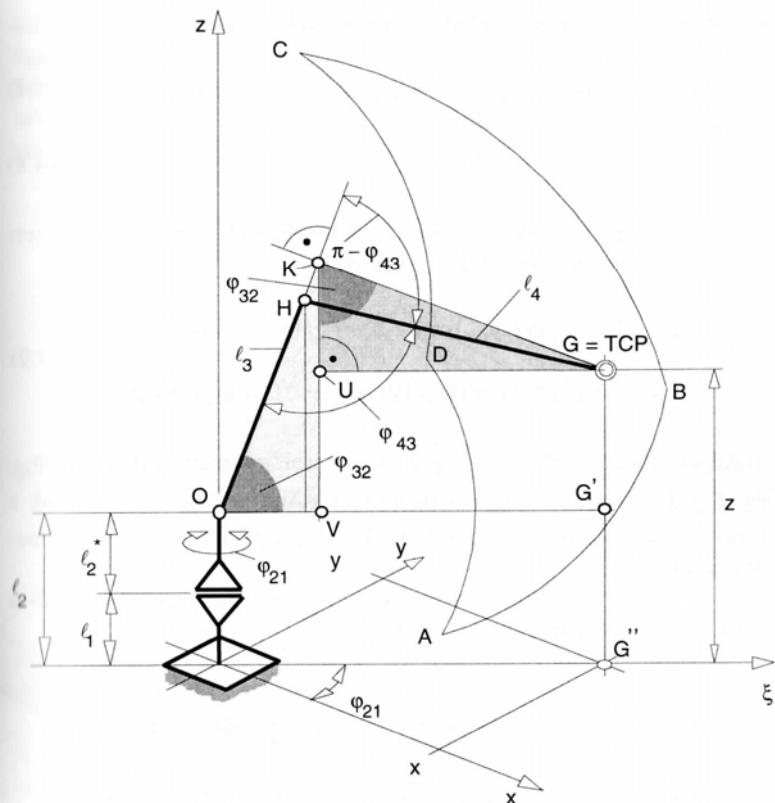
$$\overline{HK} = l_4 \cos(\pi - \varphi_{43}) = -l_4 \cos \varphi_{43}$$

$$\overline{KG} = l_4 \sin \varphi_{43}$$

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

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

- Függőleges síkú csuklókaros robotok (RRR)

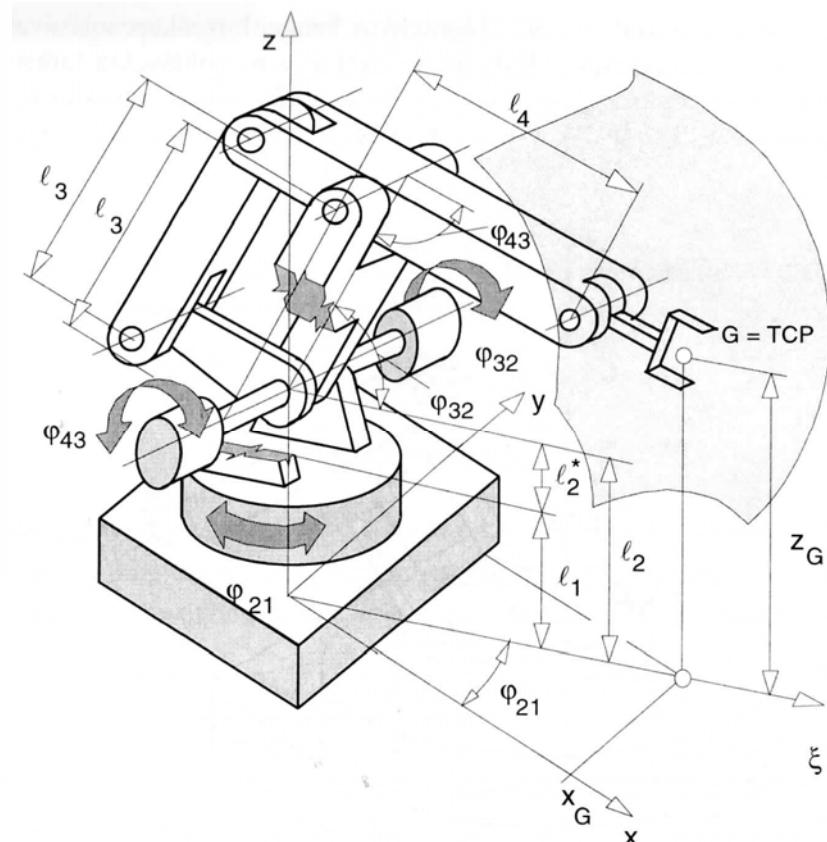
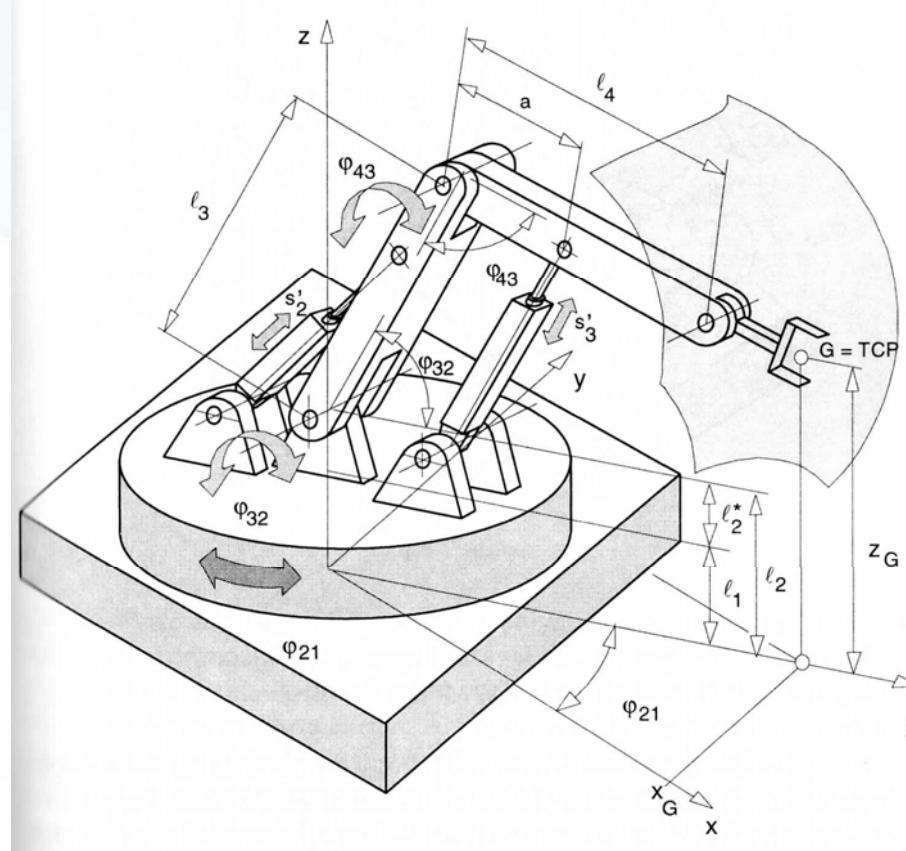


$$x = ((l_3 - l_4 \cos \varphi_{43}) \cos \varphi_{32} + l_4 \sin \varphi_{43} \sin \varphi_{32}) \cos \varphi_{21}$$

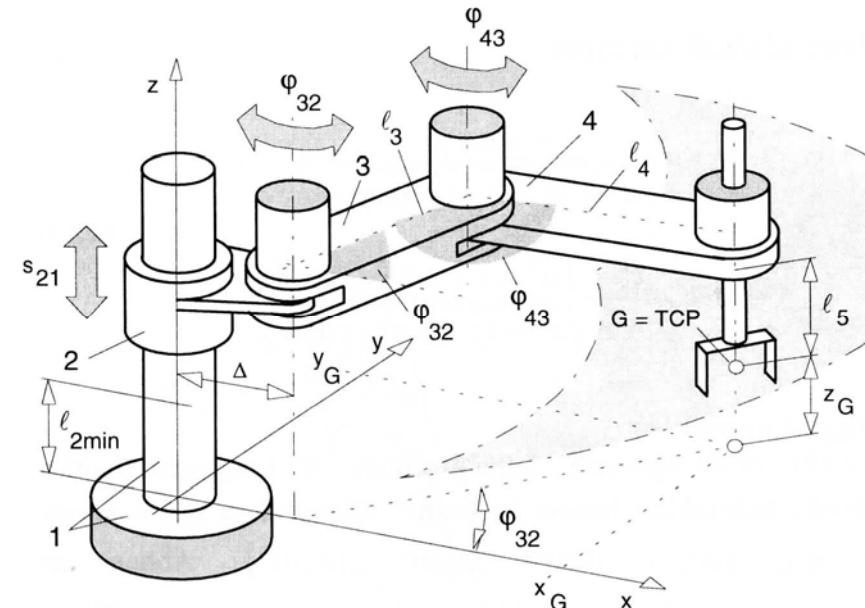
$$y = ((l_3 - l_4 \cos \varphi_{43}) \cos \varphi_{32} + l_4 \sin \varphi_{43} \sin \varphi_{32}) \sin \varphi_{21}$$

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

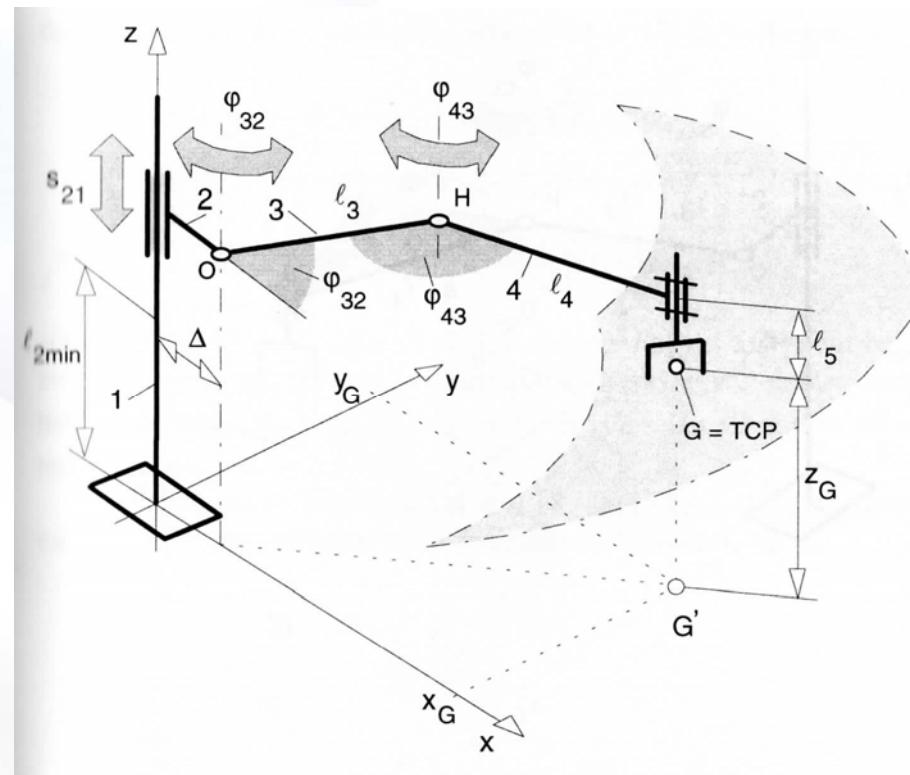
- Függőleges síkú csuklókaros robotok (RRR)



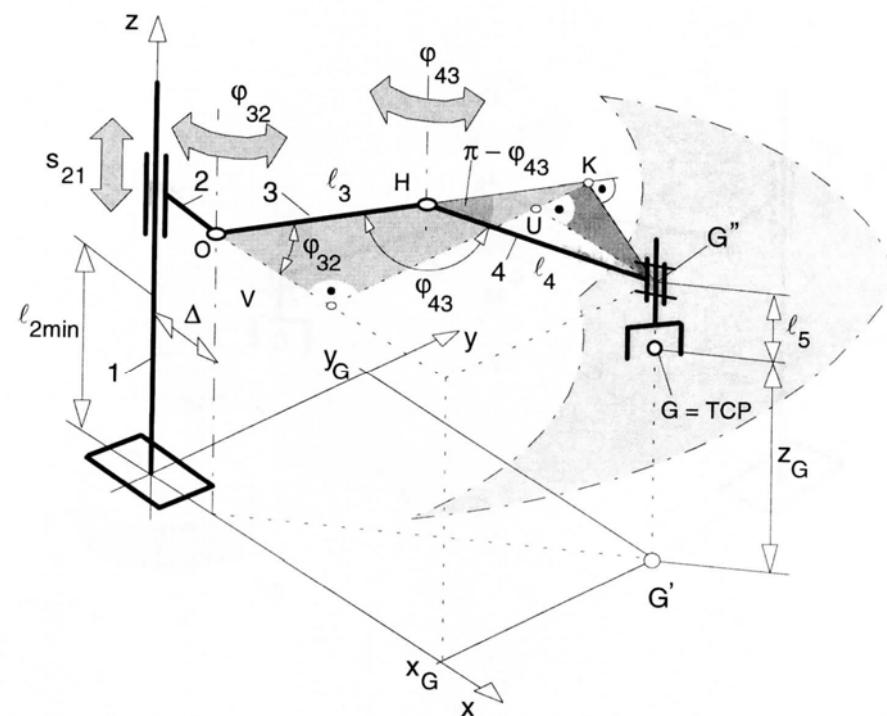
- Vízszintes síkú csuklókaros robotok (RRT , TRR)
  - SCARA - Selective Compliance Assembly Robot Arm



- Vízszintes síkú csuklókaros robotok (TRR - SCARA)



- Vízszintes síkú csuklókaros robotok (TRR - SCARA)



$$x = \Delta + (\overline{HK}) \cos \varphi_{32} + \overline{KG} \sin \varphi_{32}$$

$$y = (\overline{l_3} + \overline{HK}) \sin \varphi_{32} - \overline{KG} \cos \varphi_{32}$$

$$z = l_{2\min} + s_{21} - l_5$$

$$\overline{HK} = -l_4 \cos \varphi_{43}$$

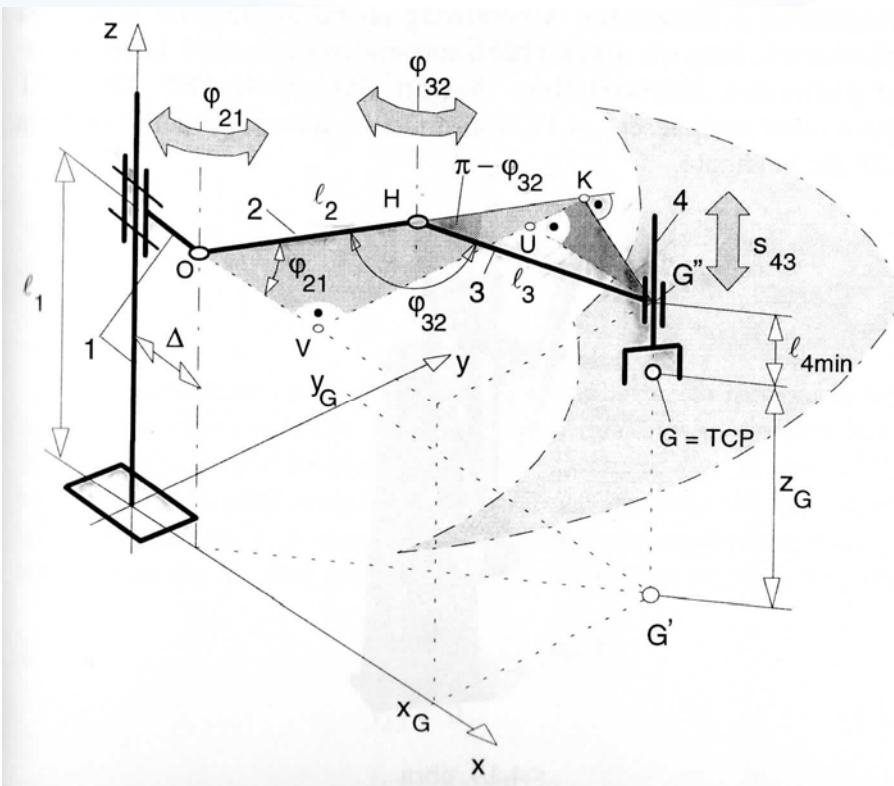
$$\overline{KG} = l_4 \sin \varphi_{43}$$

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

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

$$z = l_{2\min} + s_{21} - l_5$$

- Vízszintes síkú csuklókaros robotok (RRT - SCARA)



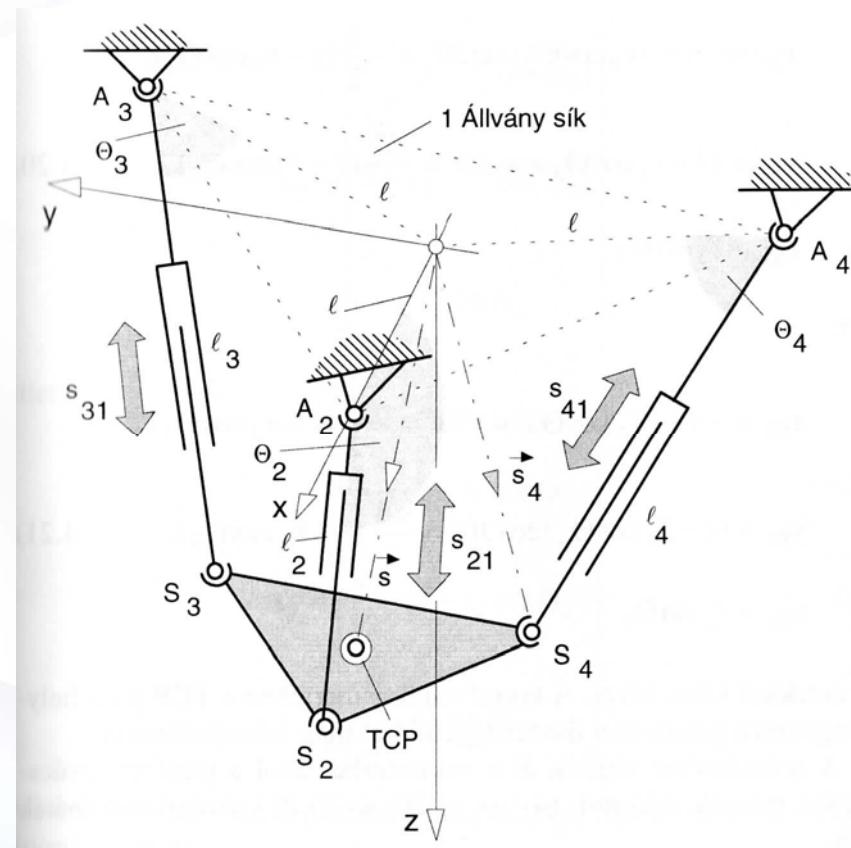
$$x = \Delta + (l_2 - l_3 \cos \varphi_{32}) \cos \varphi_{21} + l_3 \sin \varphi_{32} \sin \varphi_{21}$$

$$y = (l_2 - l_3 \cos \varphi_{32}) \sin \varphi_{21} - l_3 \sin \varphi_{32} \cos \varphi_{21}$$

$$z = l_1 - l_{4\min} - s_{43}$$

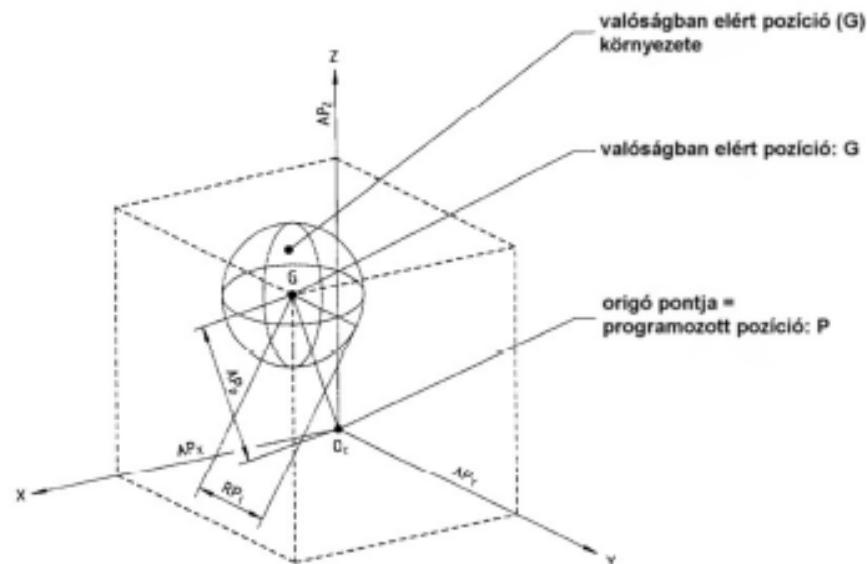
## Robotplatformok lineáris mozgásokból

- Tricept



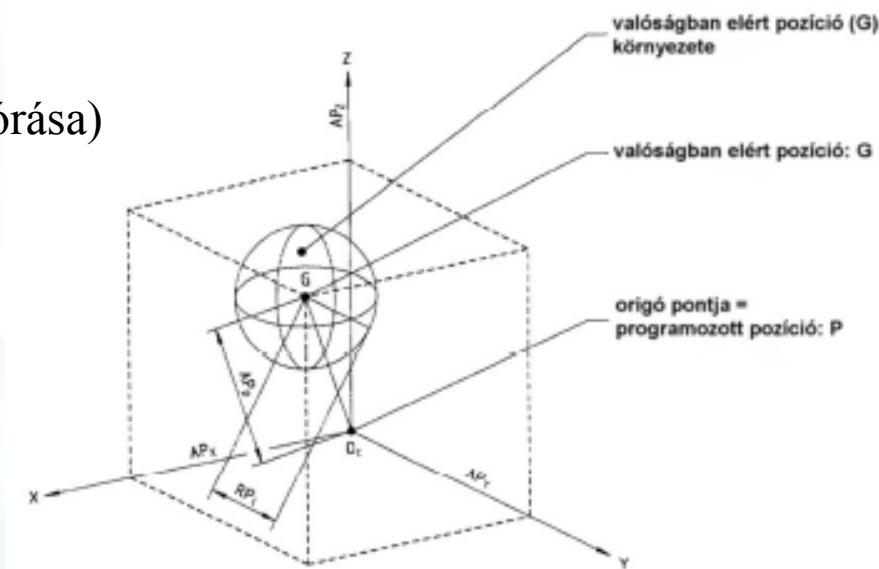
- ISO 9283 Manipulating industrial robots -- Performance criteria and related test methods
- **AP /Pose accuracy/ Pozícionálási pontosság**
  - A programozott pozíció és a valóságban elérte átlagos pozíció közötti különbség.
  - IRB 2400L-7/1.8 ABB robotnál értéke 0.04mm.
  - adott terheléssel, ugyanazon programozott pozíciót vizsgálva és azonos irányból végezve a méréseket

$$AP_p = \sqrt{AP_x^2 + AP_y^2 + AP_z^2}$$

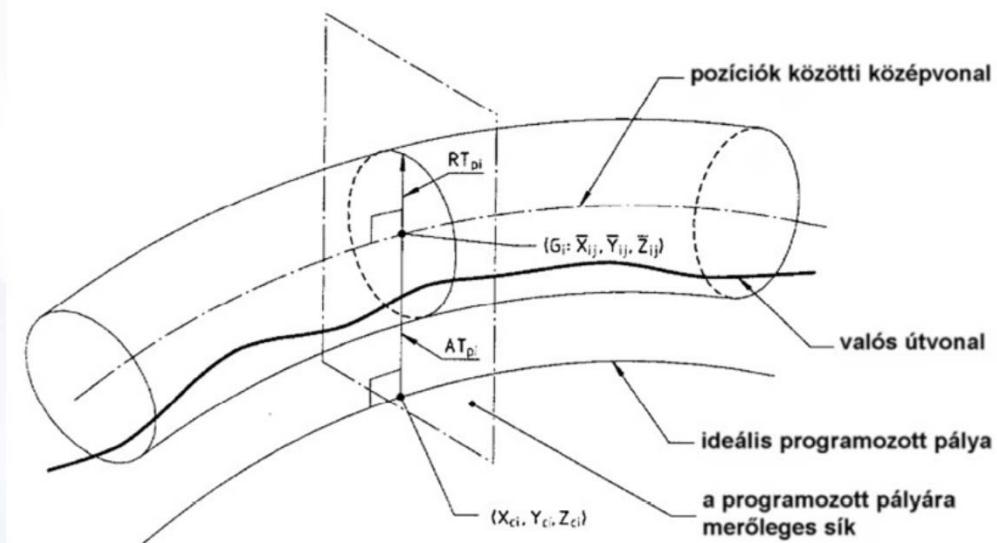


- **2.1.2 RP /Pose repeatability/ Pozíció ismétlési pontossága**
  - A „legnagyobb variációs gömb” sugara,
  - IRB 2400L-7/1.8 ABB robotnál értéke 0.07mm.
  - Egy adott mérési sorozaton belül, adott terheléssel, ugyanazon programozott pozíciót vizsgálva és azonos irányból végezve a méréseket.
  - Az ismétlési pontosság a robot alkatrészeinek precizitásától és merevségétől függ.

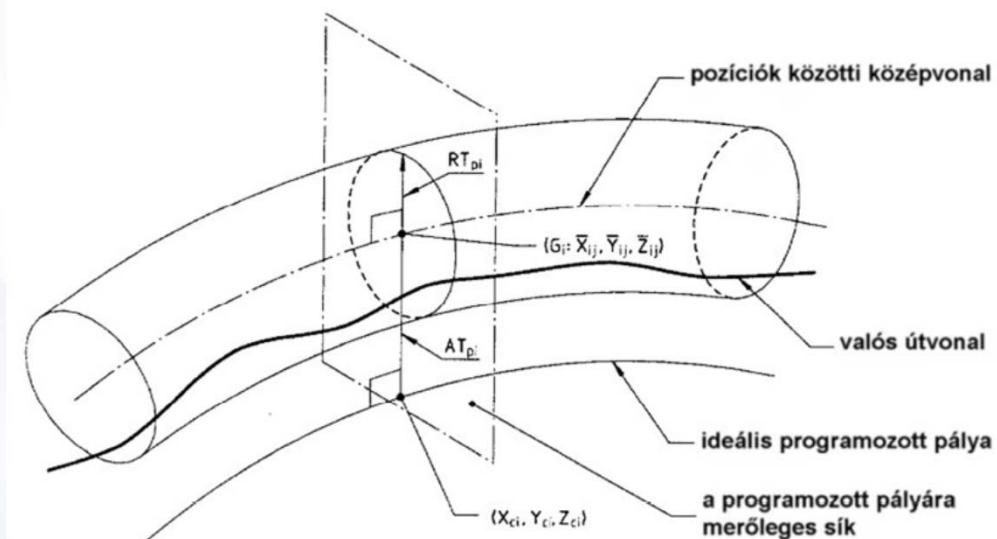
$$RP_l = l_{\text{átl}} + 3S_l \quad (\text{S}_l : \text{eltérések szórása})$$



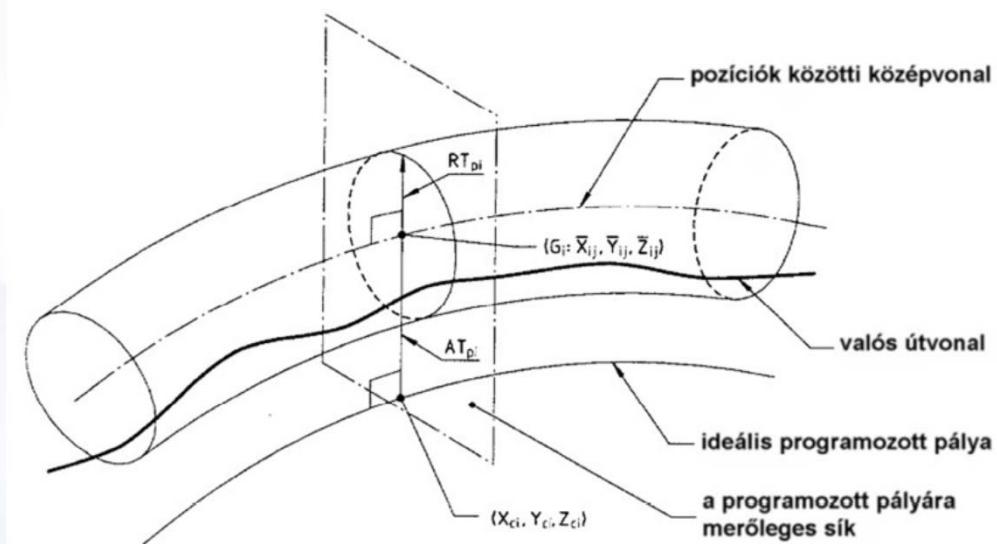
- **AT /Linear path accuracy/ Lineáris pálya pontosság**
  - A maximális pályaeltérést jelenti az egyes programozott teszt pozíciópontok közötti ideális pálya és a valóban befutott pályák között, IRB 2400L-7/1.8 ABB robotnál értéke 0.78mm.
  - A lineáris pálya pontossága a robot mechanikai pontosságától, a pozíciómérő rendszer felbontásától és a robot kalibráltságától függ.



- **AT /Linear path accuracy/ Lineáris pálya pontosság**
  - A maximális pályaeltérést jelenti az egyes programozott teszt pozíciópontok közötti ideális pálya és a valóban befutott pályák között, IRB 2400L-7/1.8 ABB robotnál értéke 0.78mm.
  - A lineáris pálya pontossága a robot mechanikai pontosságától, a pozíciómérő rendszer felbontásától és a robot kalibráltságától függ.



- **2.1.4 RT /Linear path repeatability/ Lineáris pályaismétlés pontossága**
  - Az egyes programozott teszt pozíciópontok között ismételten megtett utak közötti maximális eltérést jelenti. IRB 2400L-7/1.8 ABB robotnál értéke 0.11mm.
  - A lineáris pályaismétlés pontossága a robot mechanikai pontosságától és a pozíciómérő rendszer felbontásától függ.

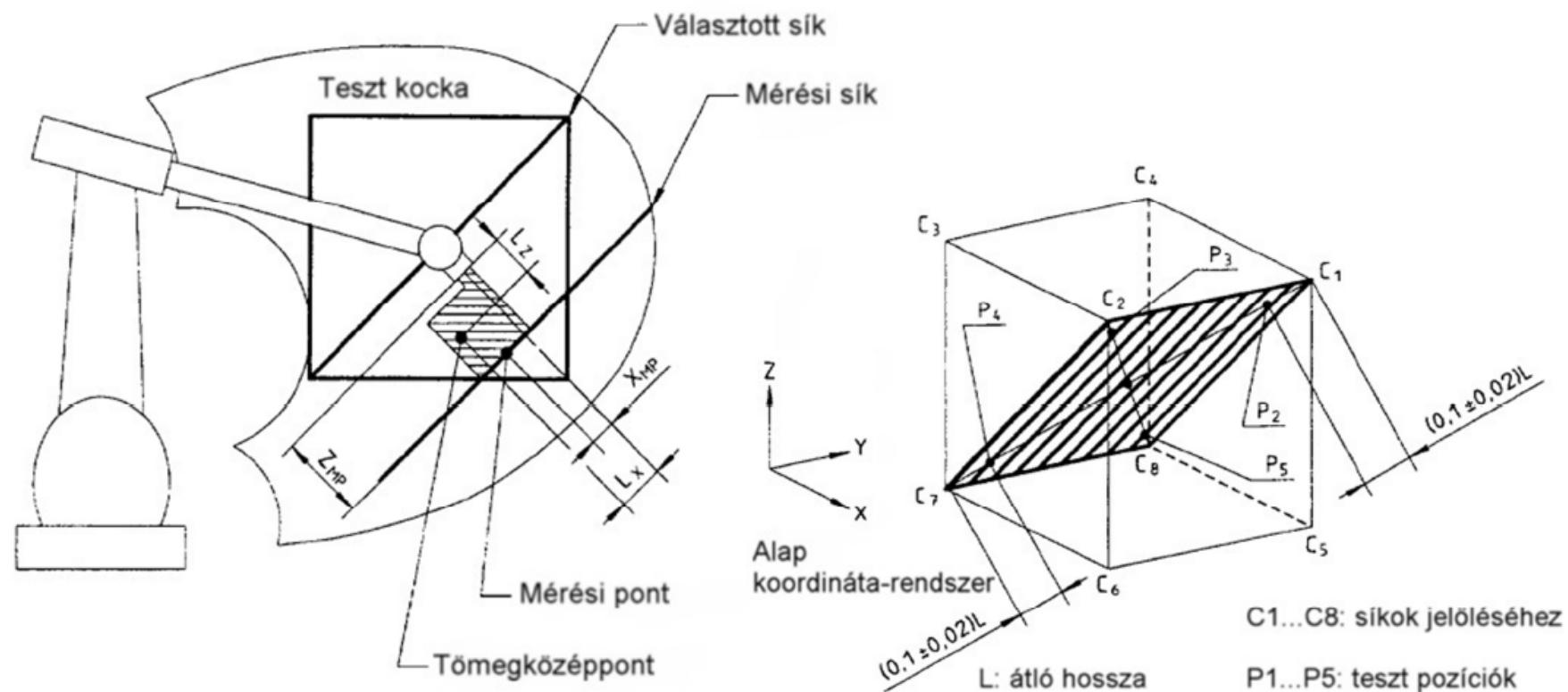


- **AD /Distance accuracy/ Távolsági pontosság**
  - Az egyes programozott teszt pozíciópontok (P2, P4 átló az ISO kockában) közötti és a valóságban elérte átlagos pozíciópontok közötti távolság eltérését jelenti, általános értéke ~20mm.
- **RD /Distance repeatability/ Távolság ismétlési pontossága**
  - A valóságban elérte pozíciópontok közötti távolság eltérései szórásának háromszorosa, általános értéke ~ 0.2mm.

- **E /Exchangeability/ Robot felcserélhetőség**
  - Mértéke kifejezi, hogy egy adott robot típus lecserélése után mennyivel változnak a pozíciók ugyanazon körülményeket feltételezve (hőmérséklet, mechanikai installáció, szerszámozás).
  - Az eltérések a következőkből adódnak:
    - gyártásból adódó mechanikus toleranciákból
    - robot összeszerelési eltérésekiből
    - kalibrációs hibákból
  - Mérése 5 robotra vonatkozik, robotonként 30 méréssel, és ugyanazt a vezérlőt használva. Az eltérések maximumát kell megadni.
  - Ez az érték nagyban kifejezi a robot minőségét, éppen ezért a robotok paraméterei között nem tüntetik fel szívesen, nagyságrendileg 10 és 30mm között fordul elő. (nagyban összefügg a távolsági pontossággal)

- /Multi directional pose accuracy variation/ Több irányú pozícionálási pontosság változás
- /Position stabilisation time/ Pozíció stabilizációs idő
- /Position overshoot/ Pozíció túllövés
- /Drift of pose characteristics/ Pozícionálási pontosság elkúszásának mértéke
- /Path accuracy on reorientation/Reorientációs pálya pontosság
- /Cornering deviation/ Eltérések sarokponti mozgásnál
- /Path velocity characteristics/ Sebesség eltérések a pálya mentén
- /Minimum posing time/ Minimális pozícionálási idő
- /Static compliance/ Statikus terhelésekre adott pozíció eltérés
- /Weaving deviations/ Pályára szuperponált keresztmozgások eltérése (hegesztő, ragasztó felhasználásoknál használatos)
- **Orientációs hibák**

- gyártó által ajánlott felállítás, installálás
  - bemelegedett rendszer (warmed-up) /kivéve a "drift of pose" mérést
  - névleges terhelés
  - környezeti hőmérséklet  $20C^\circ \pm 2C^\circ$  (24 órás aklimatizáció szükséges)
  - mérések alap koordináta-rendszerben
  - a referencia és a mérési pontok az un. ISO kockán belül legyenek
- a méréseket a pozíció stabilizálódása után végezzük
- mérési pont a TCP ( pontos helyét a riportban meg kell adni)
- maximális sebesség beállítások mellett (vagy: 100-50-10% pályakövetésnél)
- mérések száma: lásd ISO 9283 pl. 30mérés

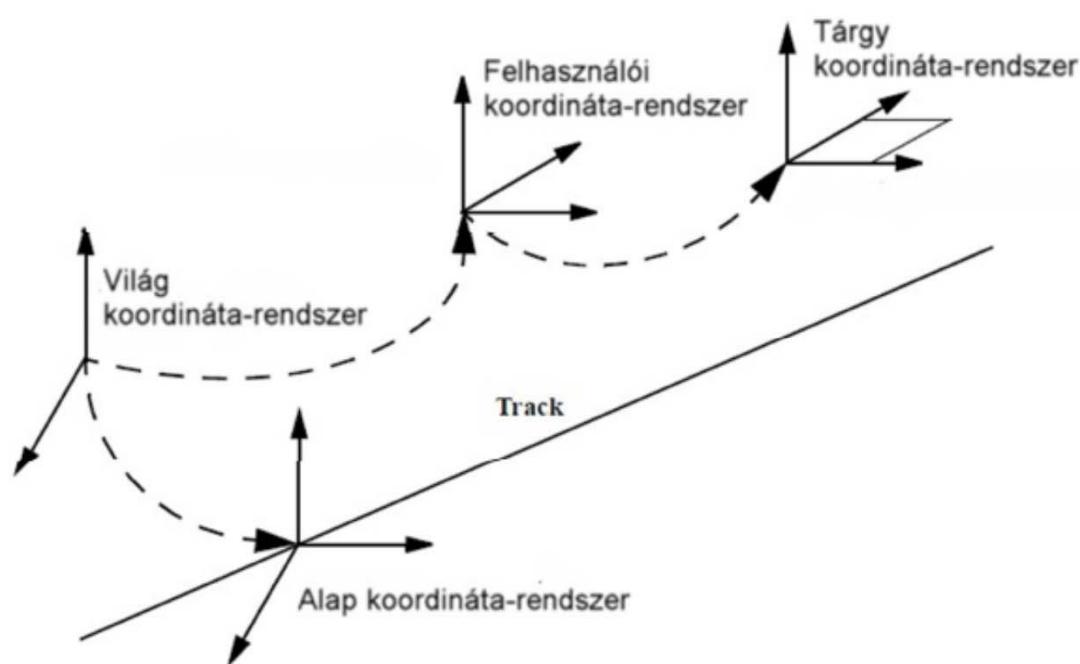
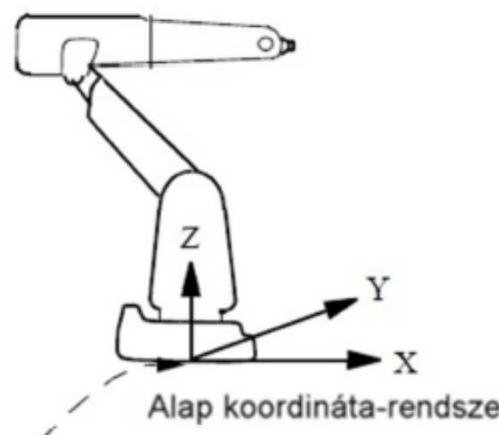


# Robottechnikában alkalmazott koordináta-rendszerek

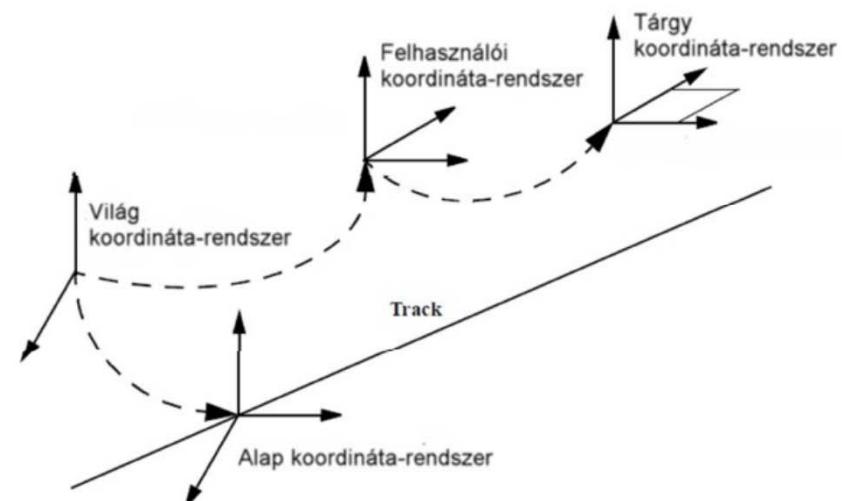
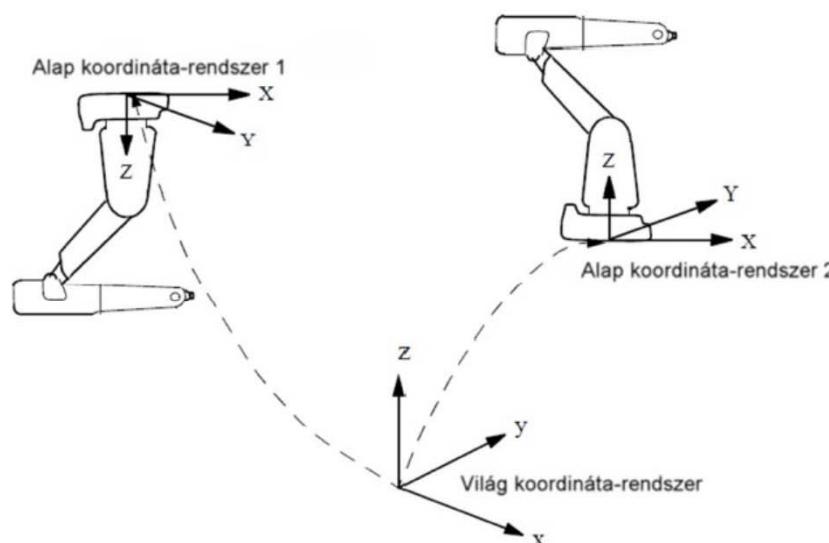


## ALAP (BASE) koordináta-rendszer

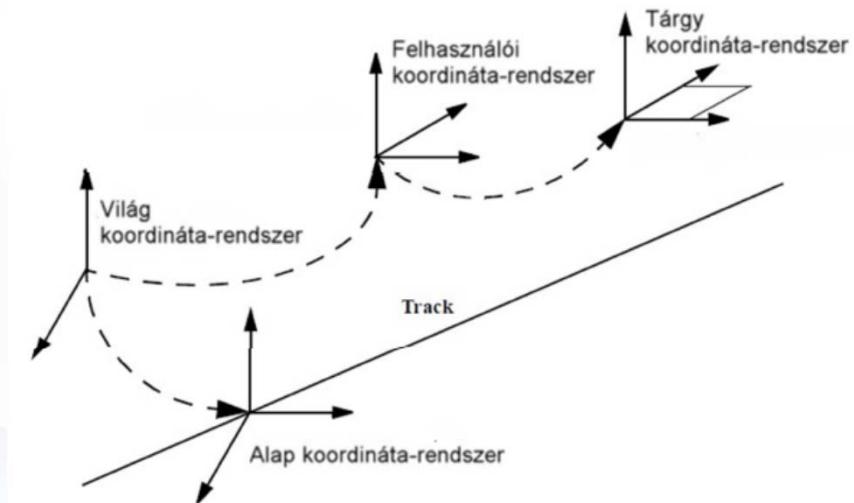
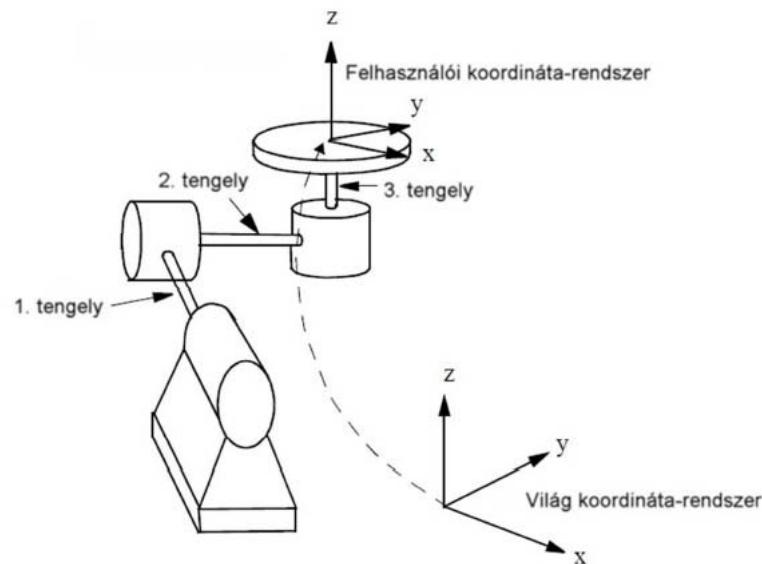
- Az ALAP (BASE) koordináta-rendszer mindig a robot alapjának középpontjához rögzített.
- Programfutás alatt a robotvezérlőben a belső számítások ezen koordináta-rendszer alapján történnek.



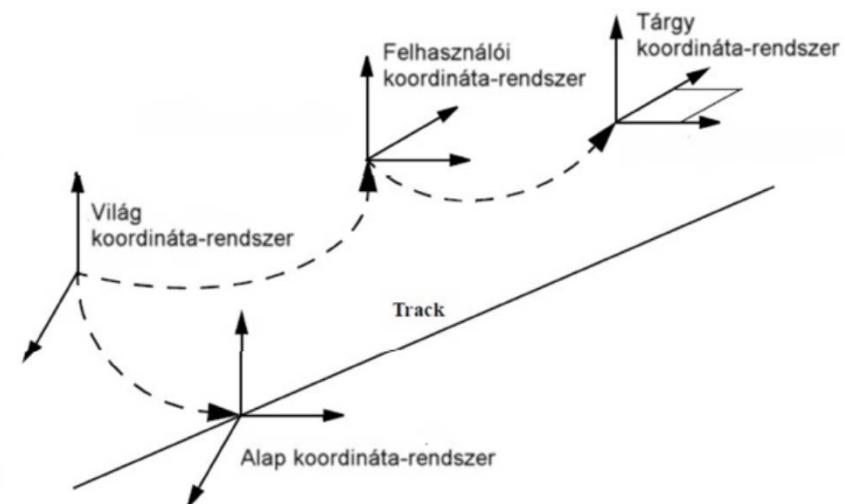
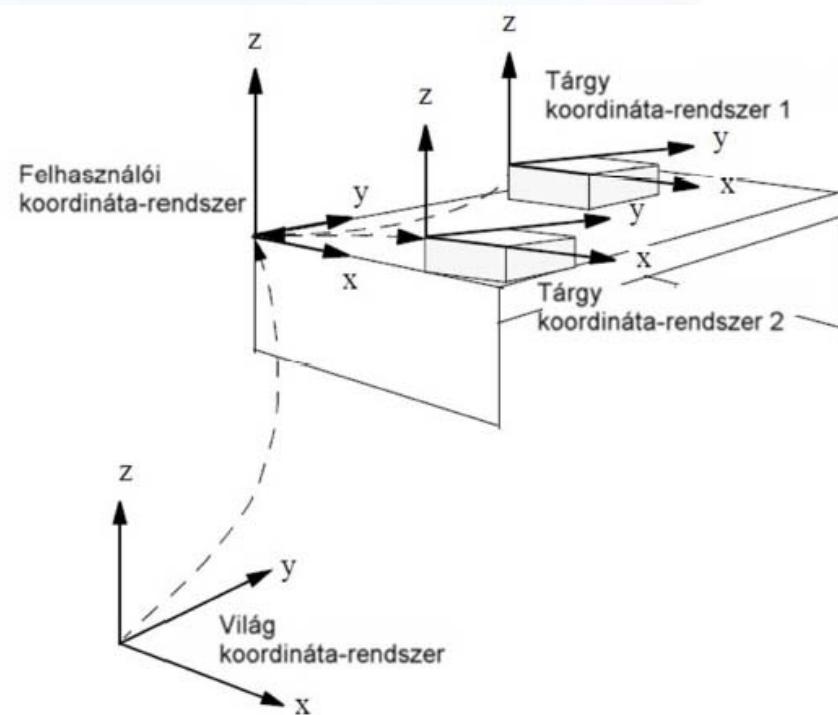
- A világ koordináta-rendszer az alap koordináta-rendszer (rendszerlek) egy fajta másolataként is elképzelhető.
  - Ezt egy un. eltolási keret (FRAME) definiálásával érhetjük el.



- A felhasználói koordináta-rendszer alaprendszere a világ koordináta-rendszer.
  - egyes készülékekhez rendelt felhasználói koordináta-rendszer. A munkadarab lefogató készülékek cseréje esetében nem kell újraprogramozást végeznünk.

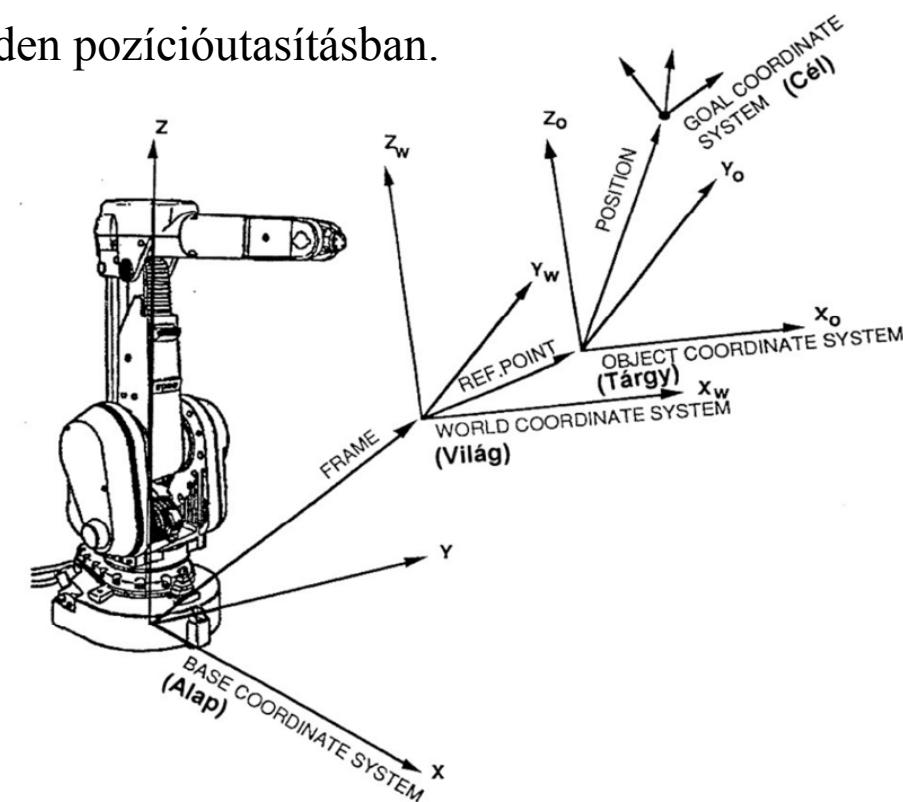


- Ha a robot több tárgyon is végez műveletet, vagy ha a tárgyak helyzete megváltozhat, akkor hasznos lehet egy a tárgy egy bizonyos pontjára vonatkozó koordináta-rendszer használata.

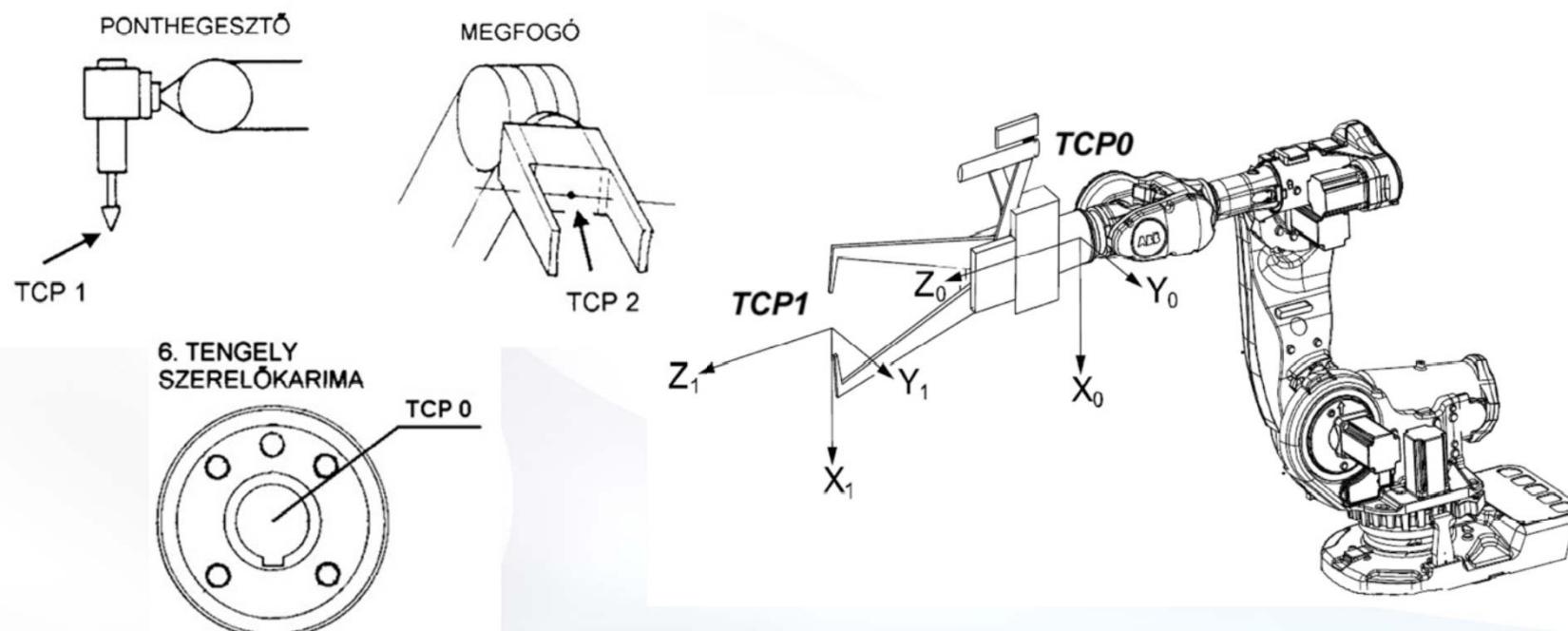


# CÉL (GOAL) koordináta-rendszer

- A "legkülső" koordináta-rendszer a CÉL (GOAL) koordináta-rendszer. Ez definiálja a célpozíciót, (X,Y,Z és orientáció) ahová a robot a rászerelt szerszámmal eljut.
  - Ez a pont kerül eltárolásra minden pozícióutasításban.



- A robotpozíciók és robotmozgások az un. robot szerszámközéppontra értelmezettek.
  - Ezt a pontot valahol a szerszámon kell definiálni, pl. hegesztésnél a hegesztő szerszám csúcsa, megfogónál a megfogó közepe.



# KÉRDÉS?

Köszönöm a figyelmet!