



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



**Rozvoj lidských zdrojů TUL pro zvyšování relevance,
kvality a přístupu ke vzdělání v podmínkách Průmyslu 4.0**

CZ.02.2.69/0.0/0.0/16_015/0002329

Automatizace a robotizace ve strojírenství

Strojírenství

Vlastimil Hotař



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
www.tul.cz

Automatizace a robotizace ve strojírenství

Průmyslové roboty a manipulátory

Vlastimil Hotař, ZS 2023

Průmyslové roboty a manipulátory



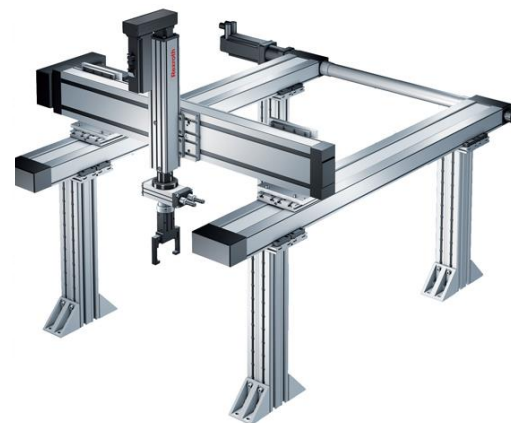
Angulární robot KUKA KR 470-2 PA,
foto: <https://www.kuka.com/>



Scara robot EPSON GX4-A301C,
foto: <https://www.epson.cz/>



Delta-robot ABB FlexPicker
IRB 360, foto:
<https://new.abb.com/>



Kartézský robot Bosch Rexroth,
grafika:
<https://www.machinedesign.com/>

Kinematická struktura mechanismů PR a manipulátorů

Mechanismy PR a manipulátorů jsou tvořeny soustavou pohyblivě spojených prvků – členů, z nichž jeden tvoří rám.

Mechanismy PR jsou odvozeny z **otevřených prostorových kinematických řetězců** a vázány ***prostorovými kinematickými dvojicemi***.

Kinematický řetězec pak určuje ***kinematickou strukturu***.

Přehled prostorových kinematických dvojic

NÁZEV	SCHÉMA	POHYBLIVOST $B:A \Rightarrow i$	SYMBOL	TŘÍDA $j = 6 - i$
ROTAČNÍ		1°	R	5
POSUVNÁ		1°	T	5
ŠROUBOVÁ		1°	H	5
VALIVÁ		1°	V	5
VÁLCOVÁ		2°	C	4
SFÉRICKÁ		3°	S	3
ROVINNÁ		3°	F	3
VÁLEC NA ROVINĚ		4°	-	2
OBEČNÁ		5°	O	1

Zdroj: Skripta Novotný F. a kol:
Úvod do automatizace a robotizace
ve strojírenství. TUL 2020.

Přehled prostorových kinematických dvojic

V kinematických řetězcích manipulátorů a robotů převládají otevřené prostorové řetězce složené z kombinace kinematických dvojic:

- *rotačních (R) a*
- *posuvných (translačních, T).*

Ty dvojice bývají umístěny ve zvláštní poloze (osy rotace, resp. translace jsou buď rovnoběžné, nebo vzájemně kolmé).

Kinematické řetězce se běžně popisují symbolickým označením, přičemž symboly kinematických dvojic v řetězci se zapisují do řádku od rámu ke koncovému členu řetězce (např. RRT), někdy se užívá označení os (např. Rz Rx Ty).

Přehled prostorových kinematických dvojic

NÁZEV	SCHÉMA	POHYBLIVOST $B:A \Rightarrow i$	SYMBOL	TŘÍDA $j = 6 - i$
ROTAČNÍ		1°	R	5
POSUVNÁ		1°	T	5
ŠROUBOVÁ		1°	H	5
VALIVÁ		1°	V	5
VÁLCOVÁ		2°	C	4
SFÉRICKÁ		3°	S	3
ROVINNÁ		3°	F	3
VÁLEC NA ROVINĚ		4°	-	2
OBEČNÁ		5°	O	1

Zdroj: Skripta Novotný F. a kol:
Úvod do automatizace a robotizace
ve strojírenství. TUL 2020.

Počet stupňů volnosti, kinematická dvojice j -té třídy

Počet stupňů volnosti (pohyblivost) kinematické dvojice i je:

roven počtu nezávislých posuvů a rotací, které mohou členy dvojice vůči sobě navzájem vykonávat.

Kinematická dvojice, odebírající j stupňů volnosti se nazývá **dvojicí j -té třídy** a v prostoru platí:

$$j = 6 - i$$

Celkový počet stupňů volnosti

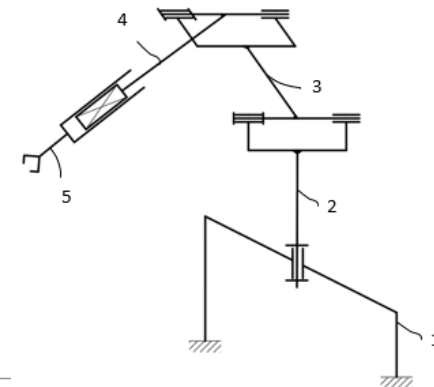
Celkový počet stupňů volnosti (DOF – Degree of freedom) prostorového kinematického řetězce (pohyblivost mechanismu) je určen vazbovou závislostí:

$$i \geq 6 \cdot (n - 1) - \sum_{j=1}^5 j \cdot d_j$$

kde

i	počet stupňů volnosti;
n	počet členů včetně rámu;
j	třída kinematické dvojice;
d_j	počet kinematických dvojic j -té třídy.

Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.



Výpočetem dle vztahu 3.2

$$i = 6 \cdot (5 - 1) - (4 \cdot 5) = 4^\circ$$

Symbolické značení struktury

RRR(T)

NÁZEV	SCHÉMA	POHYBLIVOST $B:A \Rightarrow i$	SYMBOL	TŘÍDA $j = 6 - i$
ROTAČNÍ		1°	R	5
POSUVNÁ		1°	T	5
ŠROUBOVÁ		1°	H	5
VALIVÁ		1°	V	5
VÁLCOVÁ		2°	C	4
SFÉRICKÁ		3°	S	3
ROVINNÁ		3°	F	3
VÁLEC NA ROVINĚ		4°	-	2
OBEČNÁ		5°	O	1

Zdroj: Skripta Novotný F. a kol:
Úvod do automatizace a robotizace
ve strojírenství. TUL 2020.

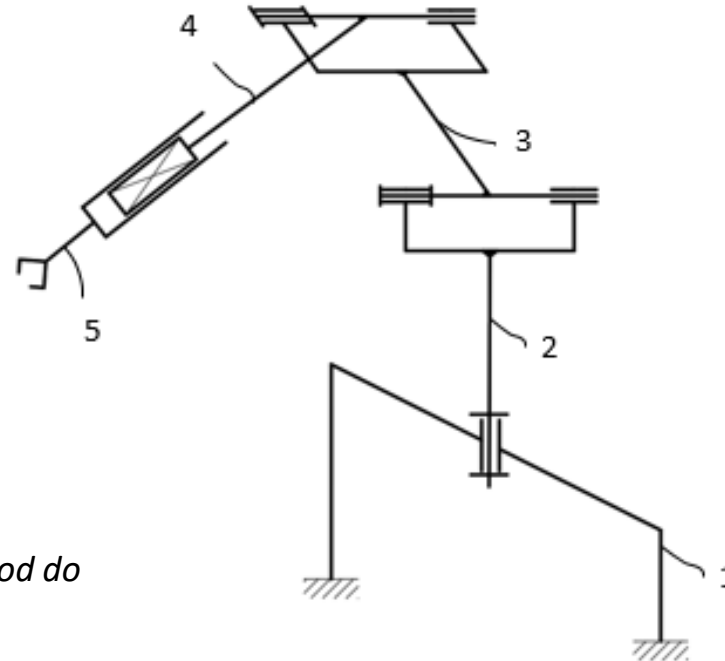


Celkový počet stupňů volnosti

$$i \geq 6 \cdot (n - 1) - \sum_{j=1}^5 j \cdot d_j$$

$$i = 6 \cdot (5 - 1) - (1 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 0 + 4 \cdot 0 + 5 \cdot 4)$$

i počet stupňů volnosti;
 n počet členů včetně rámu;
 j třída kinematické dvojice;
 d_j počet kinematických dvojic j -té třídy.



Výpočetem dle vztahu 3.2

$$i = 6 \cdot (5 - 1) - (4 \cdot 5) = 4^\circ$$

Symbolické značení struktury

RRR(T)

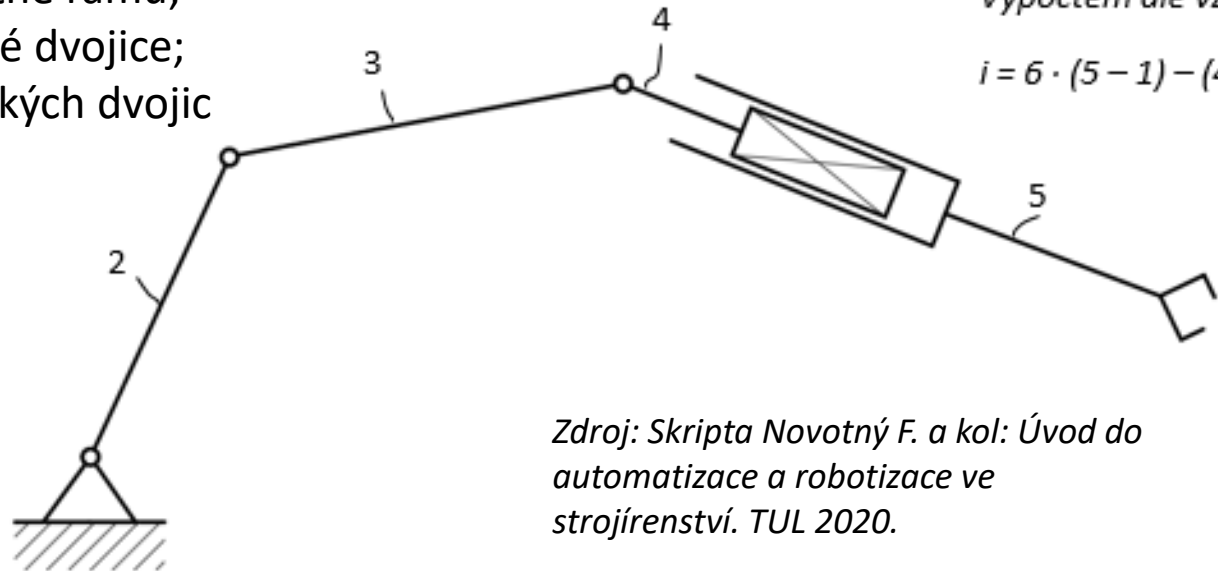
Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Celkový počet stupňů volnosti

$$i \geq 6 \cdot (n - 1) - \sum_{j=1}^5 j \cdot d_j$$

$$i = 6 \cdot (5 - 1) - (1 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 0 + 4 \cdot 0 + 5 \cdot 4)$$

- i počet stupňů volnosti;
 n počet členů včetně rámu;
 j třída kinematické dvojice;
 d_j počet kinematických dvojic j -té třídy.



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Celkový počet stupňů volnosti

Počet stupňů volnosti je roven počtu nezávislých pohybů, které může struktura vykonávat a pro každý nezávislý pohyb musí být **soustava vybavena příslušným pohonem**.

Nejčastěji je technická realizace provedena pomocí:

- **rotačních** pohybových jednotek s individuálním vnitřním pohonem,
- **translačních** pohybových jednotek s individuálním vnitřním pohonem.

Každá jednotka má samostatný nezávislý pohon.

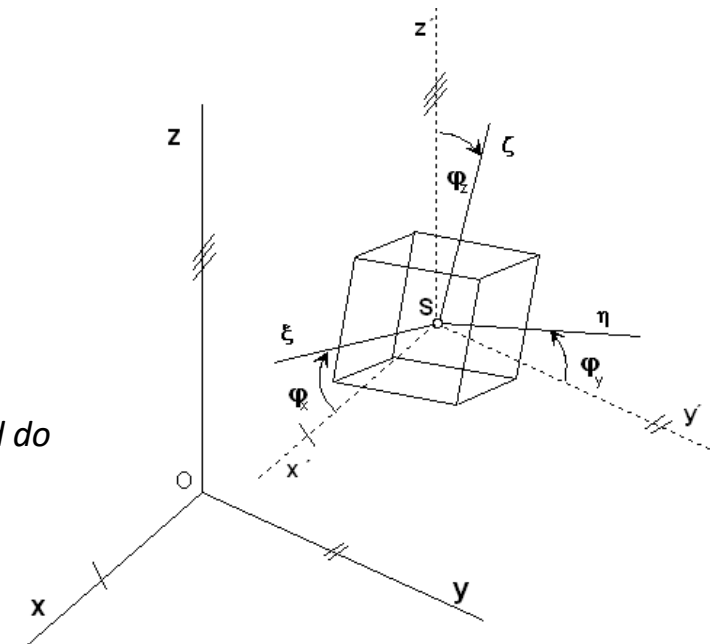
Počet pohybových jednotek (pohonů) odpovídá počtu nezávislých souřadnic výsledné polohy koncového členu robotu a je jím určen počet stupňů volnosti.

Členění kinematického řetězce

Pro vysvětlení členění a funkce jednotlivých částí řetězce je třeba pochopit, že poloha manipulovaného objektu je v prostoru obecně určena 6-ti souřadnicemi:

- tři souřadnice určují polohu těžiště $S(x_S, y_S, z_S)$ a
- tři souřadnice určují natočení objektu kolem os x, y, z unášeného souřadného systému v těžišti objektu o úhly, které definují orientaci objektu v prostoru.

Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

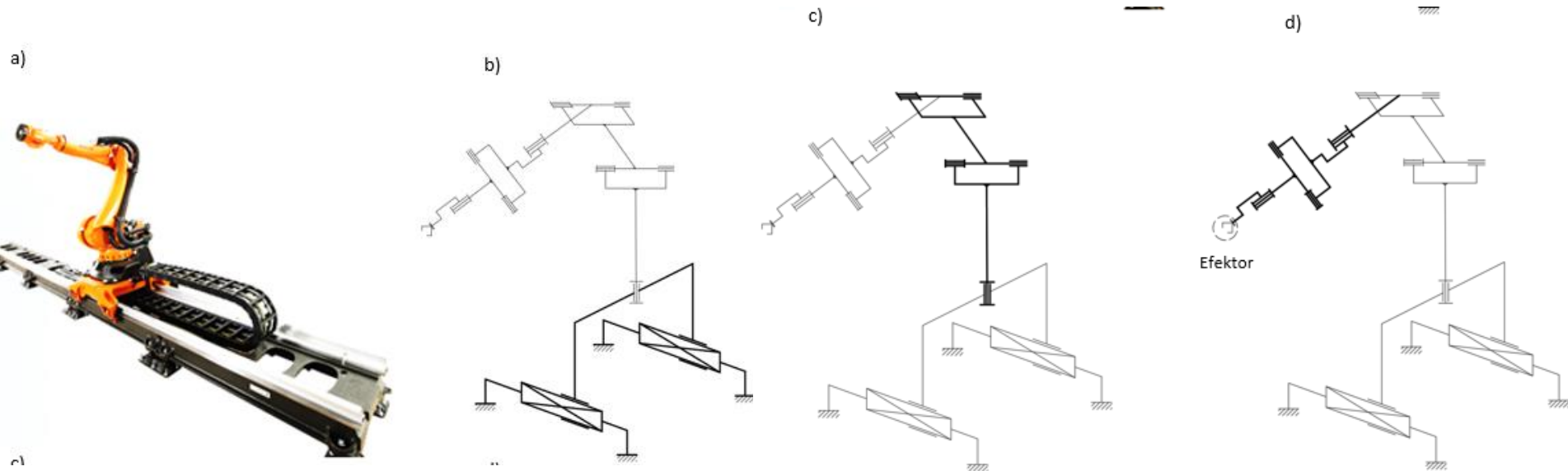


Členění kinematického řetězce

Kinematický řetězec robotu je rozdělen na:

- polohovací ústrojí;
- orientační ústrojí;
- efektor;
- pojezdové ústrojí.

Členění kinematického řetězce

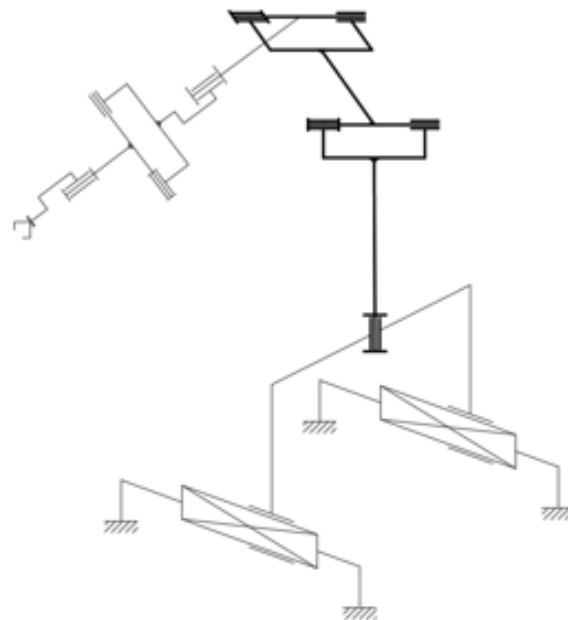


Zdroj: Skripta Novotný F. a kol:
Úvod do automatizace a robotizace
ve strojírenství. TUL 2020.

Členění kinematického řetězce

Polohovací ústrojí (*angl. Robot arm - rameno robotu*) - slouží k přemísťování objektů, resp. k jejich polohování v rovině nebo prostoru.

Polohovací ústrojí je základem stavby PR a konstrukčně je řešeno nejčastěji kombinací rotačních a translačních pohybových jednotek s různou mírou strukturální integrace v souladu se zvolenou koncepcí konstrukčního řešení.

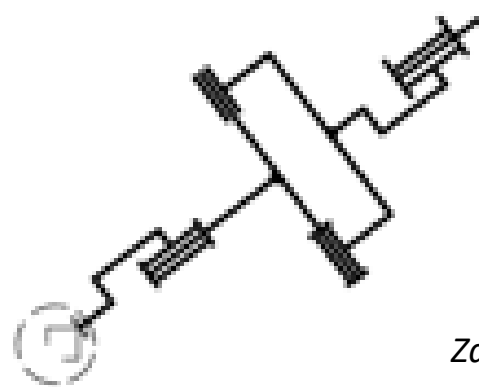


Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Členění kinematického řetězce

Efektory (*angl. End Effector* – výstupní hlavice) jsou ústrojí:

- **úchopné hlavice** (také **chapadla**), slouží uchopování a držení manipulovaného objektu,
- **technologické hlavice**, které jsou tvořeny speciálními pracovními nástroji (stříkací pistole, svařovací nástroje apod.) a slouží k realizaci technologických funkcí.

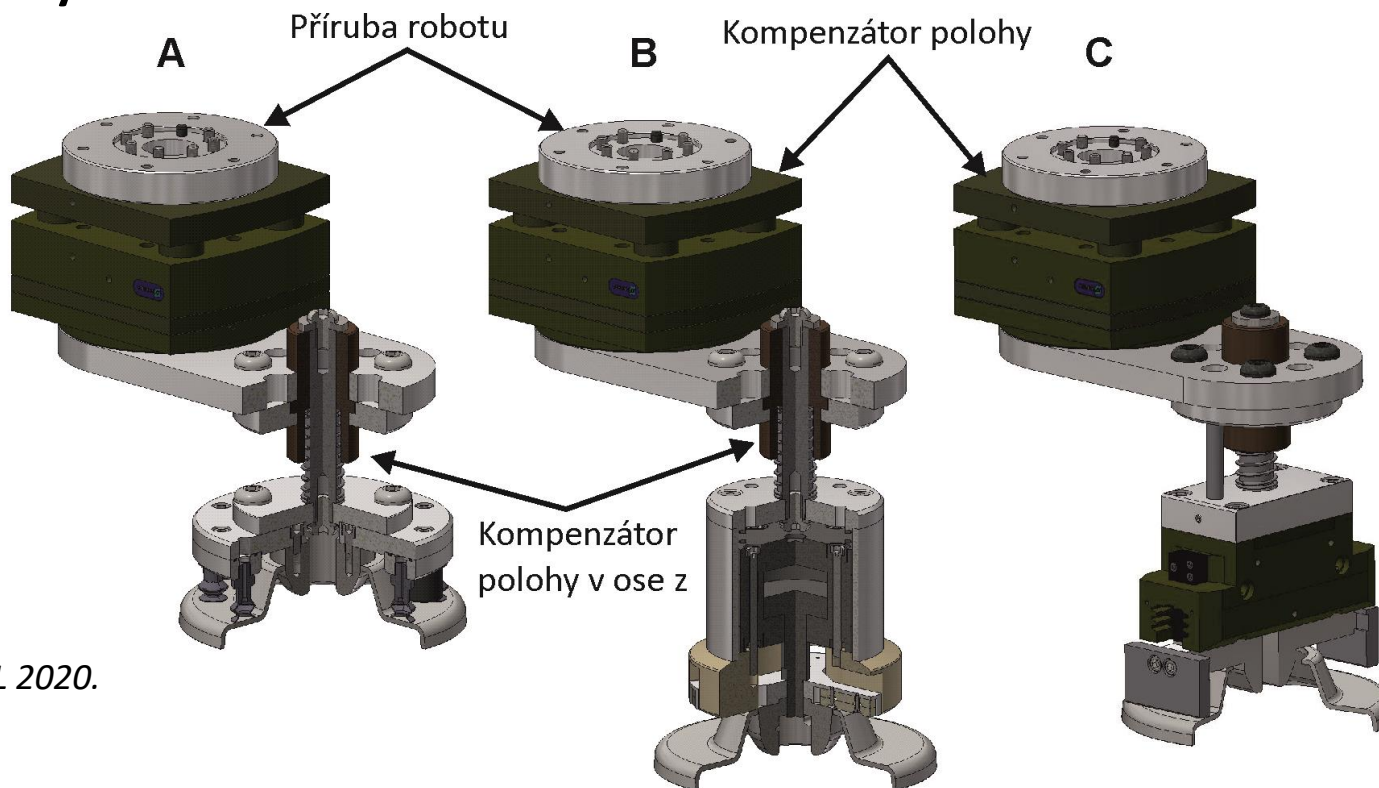


Efektor

Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Členění kinematického řetězce

Efektory

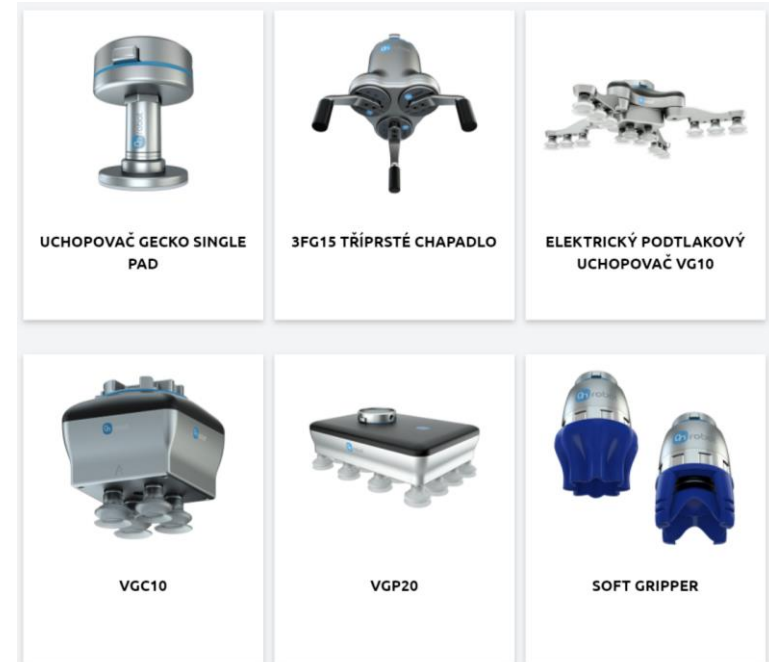
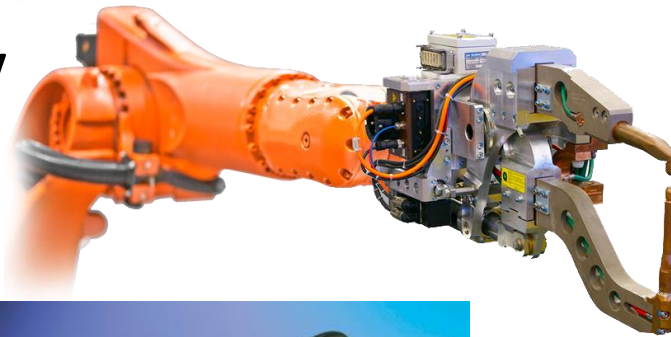


Zdroj: KSR, TUL 2020.

Řez multi-přísavkovým (A) a magnetickým (B) chapadlem, model mechanického chapadla (C)

Členění kinematického řetězce

Efektory



Zdroj:
<https://www.pngwing.com/en/free-png-yurah/download>
<https://onrobot.com/>
<https://www.durr.com/>
<https://www.fanuc.eu/>

Členění kinematického řetězce

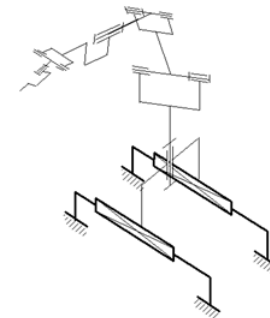
Pojezdové ústrojí – je od PR oddělená translační jednotka (často se zdvihem několika metrů).

Slouží ke zvětšení pracovního prostoru robotu při zachování vysoké přesnosti polohování.

Pojezdové ústrojí je umístěno:

- v úrovni podlahy,
- jako portál nad úrovní pracovních míst, na kterém je robot zavěšen "hlavou dolů,, (častěji).

Pojezdové ústrojí je funkčním doplňkem aplikovaným v případě nezbytnosti pro zvolené nasazení PR.



Členění kinematického řetězce



Zdroj: <https://www.robots.com/robots/kuka-kr-60-jet> ,
<http://robotgossip.blogspot.com/2006/05/combined-6-axis-and-linear-robot.html>

Kinematické (strukturální) uspořádání PR a manipulátorů

- Velmi rozmanité a jejich kinematické řetězce obsahují především nejrůznější kombinace rotačních a translačních kinematických dvojic.
- Liší se:
 - počtem stupňů volnosti,
 - typem kinematických dvojic a jejich vzájemnou variací.

Manipulátory mají obvykle $2^\circ - 3^\circ$ volnosti (výjimečně více).
PR mají obvykle $4^\circ - 6^\circ$ (v případě pojezdu 7°) volnosti.

Větší počet stupňů volnosti = snížení polohové tuhost koncového členu a klesá přesnost polohování.

Vyšší počet je používán pouze výjimečně v případech, vyžadujících složitou manipulaci v nepřístupných prostorech.

Kinematické (strukturální) uspořádání PR a manipulátorů

Struktura kinematického řetězce není náhodná a sleduje především splnění těchto podmínek:

1. **Požadované dráhy těžiště objektu** (manipulační prostor);
2. Požadovaná přesnost polohování;
3. Požadovaná (anebo neměnná) orientace objektu vůči základnímu souřadnému systému;
4. Vhodná vazba kinematického řetězce na pohony pohybových jednotek;
5. Vhodnost konstrukčního provedení;
6. Vazba na jiná manipulační a pomocná (periferní) zařízení.

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

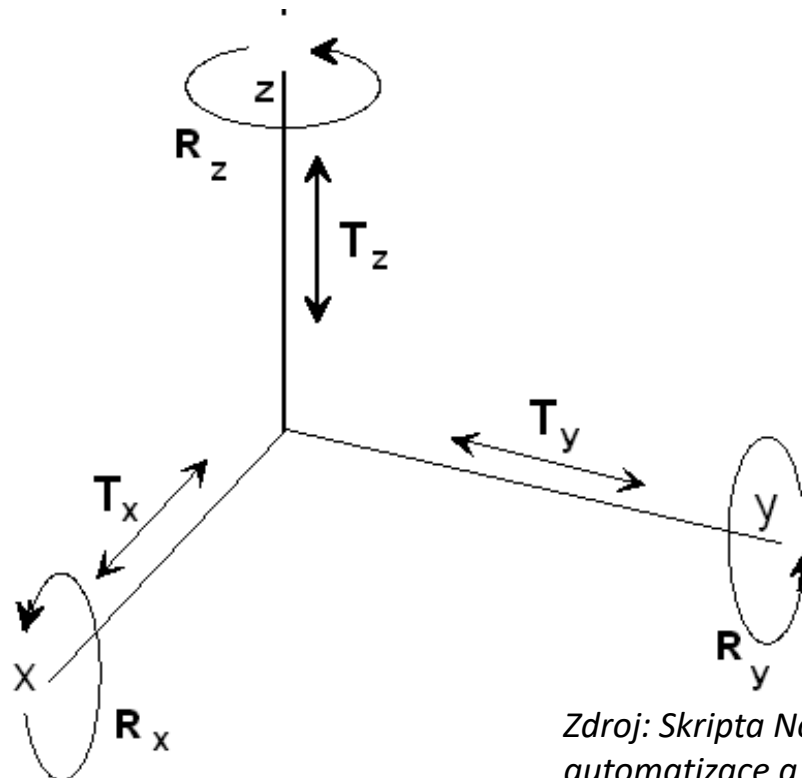
Těžiště manipulovaného objektu se může pohybovat:

- po přímce (1°);
- po kružnici (1°);
- po křivce ležící v rovině, na válcové anebo kulové ploše (2°);
- po obecné křivce (3°).

Důležitá je **vazba polohovacího ústrojí na základní souřadný systém**, tj. vztah polohy pohybových os rotačních a translačních pohybových jednotek k osám základního souřadného systému $0, x, y, z$.

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

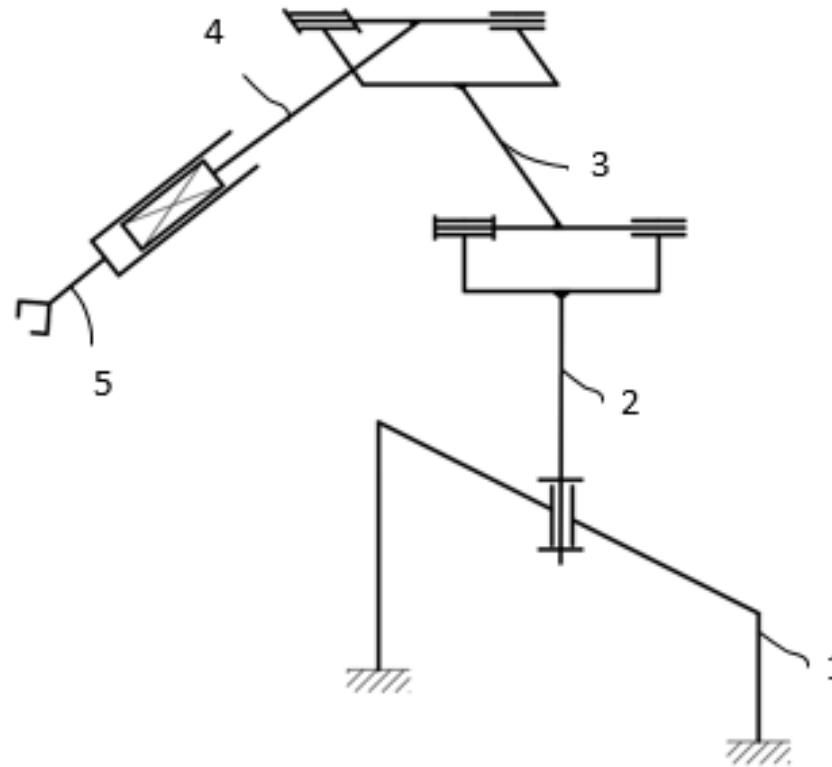
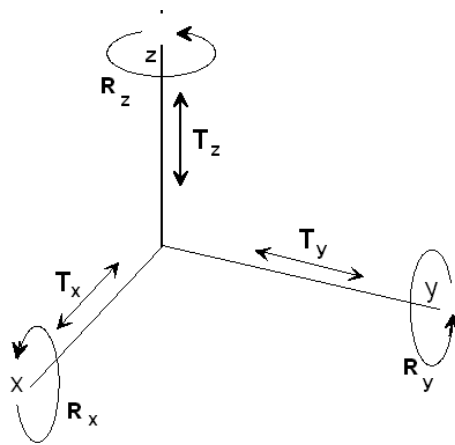
Velmi častý je případ, kdy pohybové osy a osy souřadného systému jsou totožné nebo rovnoběžné (popř. kolmé).



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

$R_z, R_y, R_y, (T_x)$



Výpočet dle vztahu 3.2

$$i = 6 \cdot (5 - 1) - (4 \cdot 5) = 4^\circ$$

Symbolické značení struktury

RRR(T)

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Přehled struktur polohovacího ústrojí

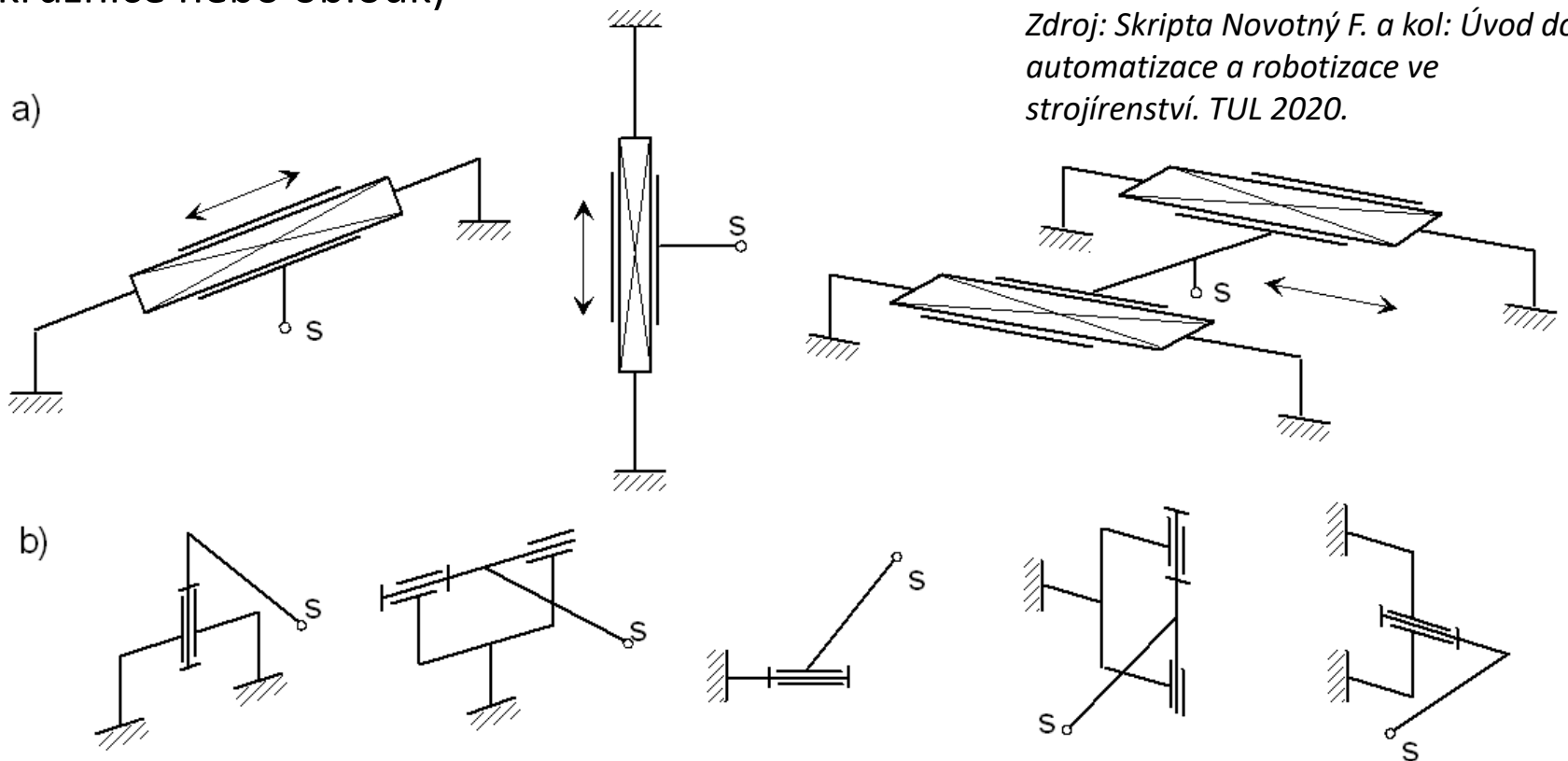
Počet °volnosti	Symbolický popis kinem. řetězce	Počet možných uspořádání	Dráha objektu
Pro 1°volnosti	T	3	Úsečka kružnice, oblouk
	R	3	
Pro 2°volnosti	TT	6	Obecná rovinná křivka resp. křivka na válcové nebo sférické ploše
	RT, TR	9	
	RR	6	
Pro 3°volnosti	TTT	6	Obecná prostorová křivka
	RTT, TRT, TTR	18	
	RRT, TRR, RTR	27	
	RRR	6	

Zahrnuje všechna teoreticky možná uspořádání, za předpokladu, že translace ve směru jedné pohybové osy se může v řetězci vyskytovat pouze 1x a rotace kolem rovnoběžných os se vyskytuje nejvýše 2x.



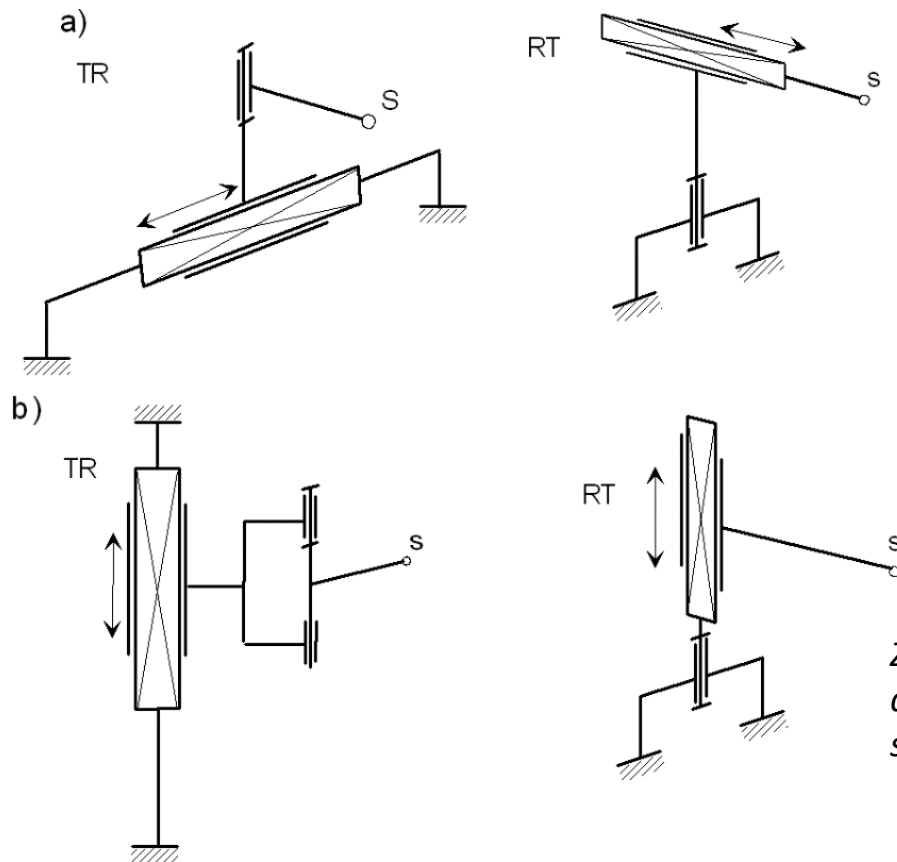
Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Příklady kinematických struktur s 1° volnosti: a – realizace pohybu po přímce; (pracovní prostor úsečka); b – pohyb po kružnici (pracovní prostor kružnice nebo oblouk)



Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

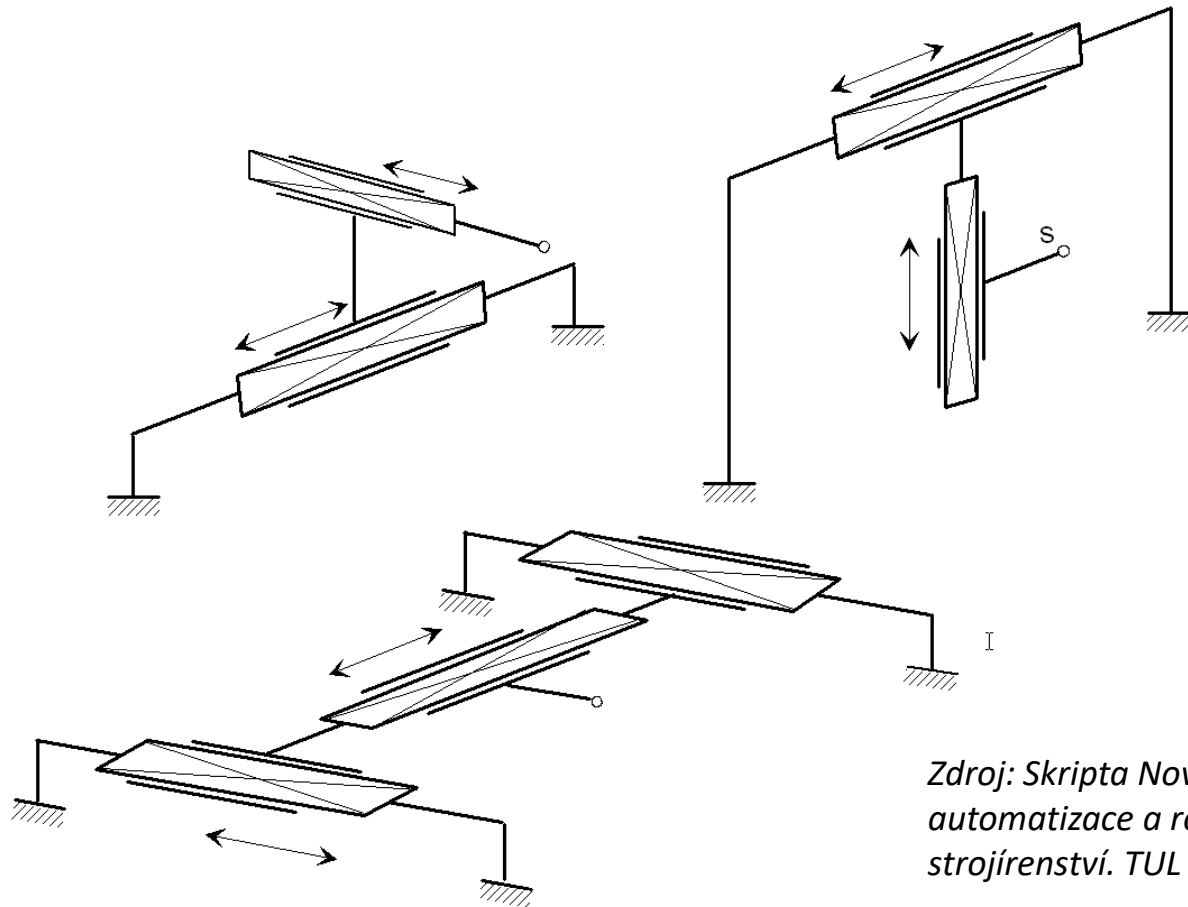
Příklady nestejnorodých struktur se 2° volnosti: a – pracovní prostor část roviny; b – pracovní prostor na válcové ploše



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Příklady stejnorodých struktur se 2°s translačními kinematickými dvojicemi

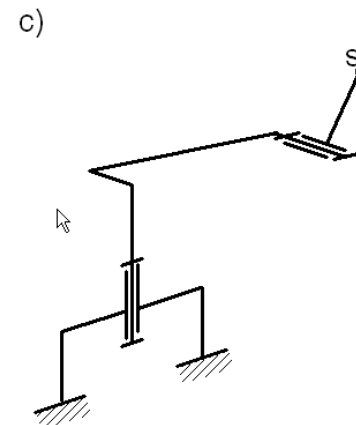
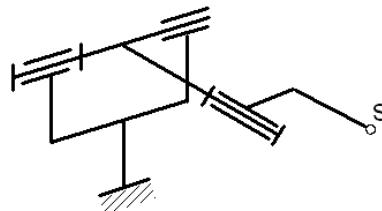
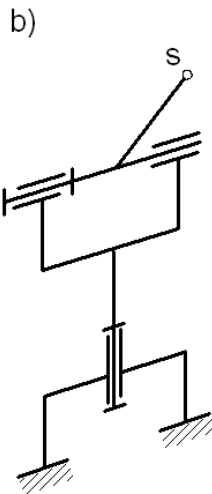
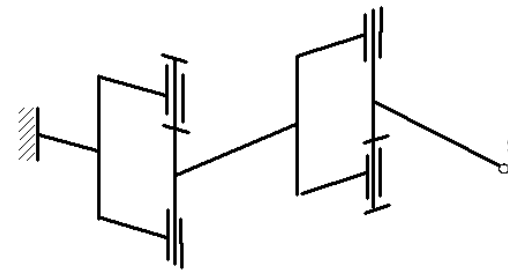
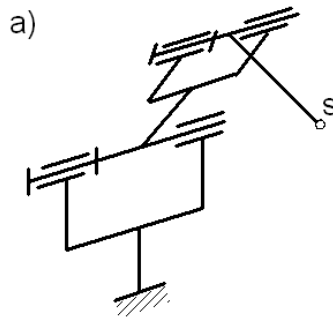


Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Příklady stejnorodých struktur se dvěma rotačními jednotkami (2° volnosti):

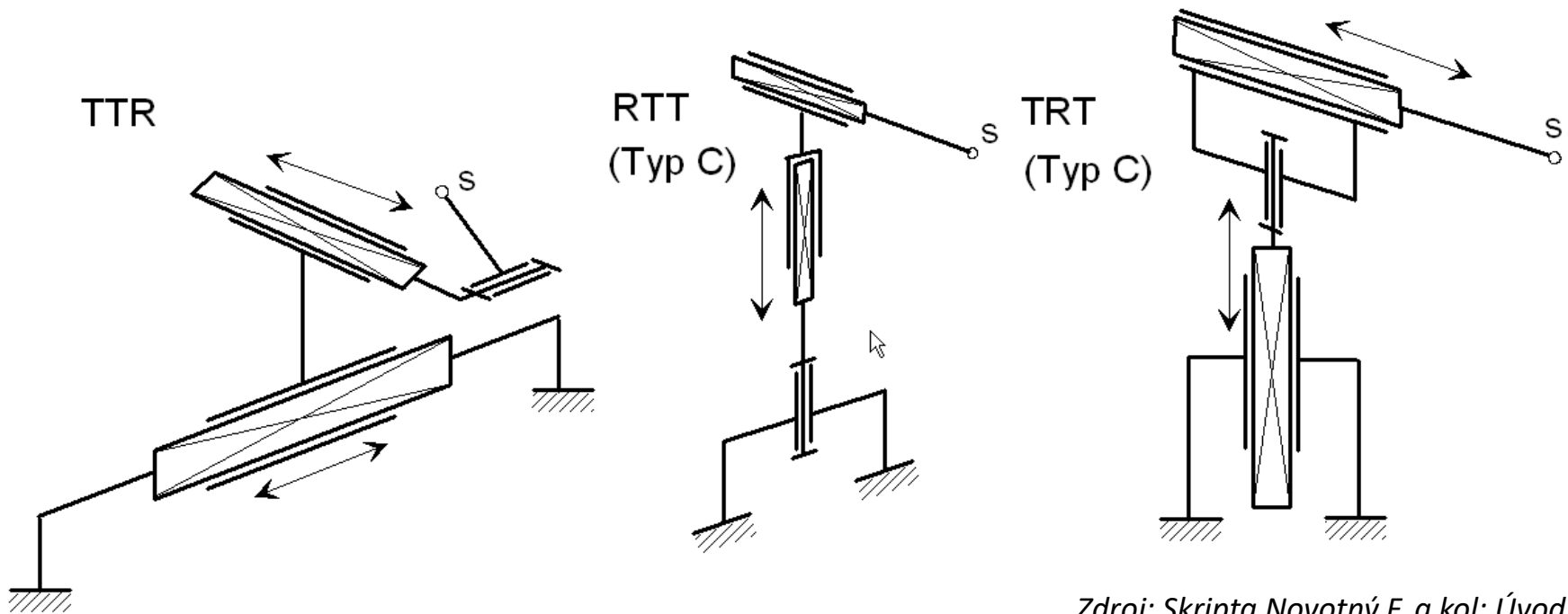
a- dráha objektu v rovině; b – dráha objektu na sférické ploše; c – povrch anuloidu



Zdroj: Skripta Novotný F.
a kol: Úvod do
automatizace a
robotizace ve
strojírenství. TUL 2020.

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Příklady struktur polohovacího ústrojí průmyslových robotů – **kinematické řetězce se 3° stupni volnosti**

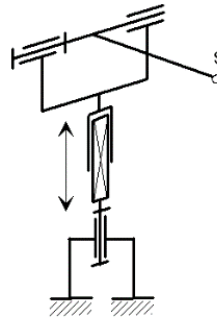


Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

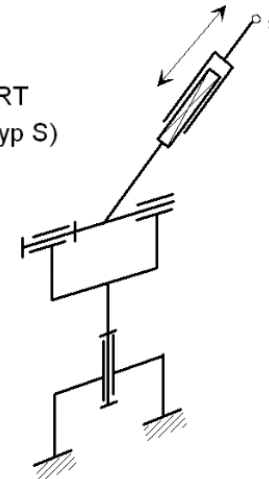
Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Příklady struktur polohovacího ústrojí průmyslových robotů – kinematické řetězce se 3° volnost

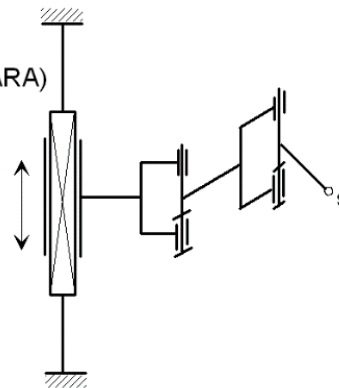
RTR



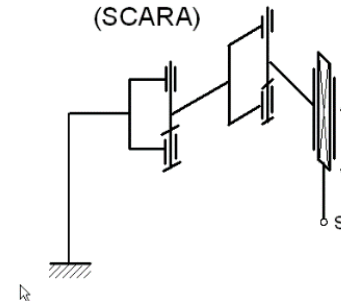
RRT
(Typ S)



TRR
(SCARA)



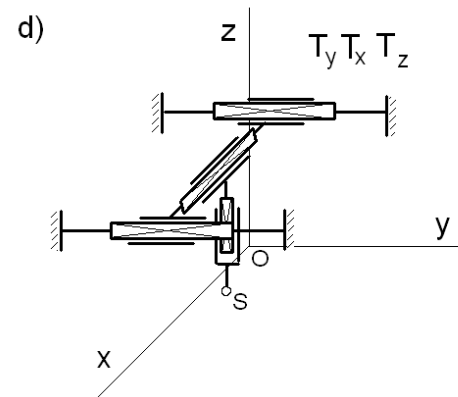
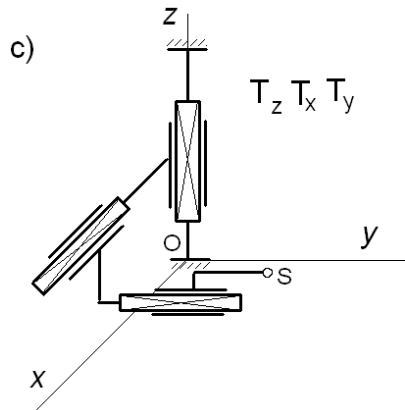
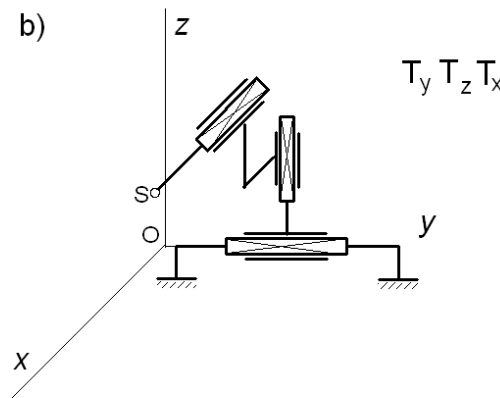
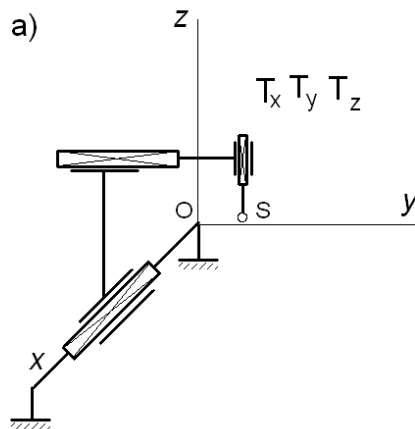
RRT
(SCARA)



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Možnosti realizace kinematického řetězce TTT



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Přehled struktur polohovacího ústrojí

Počet °volnosti	Symbolický popis kinem. řetězce	Počet možných uspořádání	Dráha objektu
Pro 1°volnosti	T	3	Úsečka kružnice, oblouk
	R	3	
Pro 2°volnosti	TT	6	Obecná rovinná křivka resp. křivka na válcové nebo sférické ploše
	RT, TR	9	
	RR	6	
Pro 3°volnosti	TTT	6	Obecná prostorová křivka
	RTT, TRT, TTR	18	
	RRT, TRR, RTR	27	
	RRR	6	

Zahrnuje všechna teoreticky možná uspořádání, za předpokladu, že translace ve směru jedné pohybové osy se může v řetězci vyskytovat pouze 1x a rotace kolem rovnoběžných os se vyskytuje nejvýše 2x.

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Lze ukázat, že některé varianty uspořádání uvedené výše jsou rovnocenné a jejich rozlišování je pro praktické aplikace neúčelné.

Například struktura TTT má za předpokladu, že nepřipustíme translaci podél rovnoběžných os tato možná uspořádání:

$$\begin{matrix} T_x T_y T_z \\ T_x T_z T_y \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} T_y T_x T_z \\ T_y T_z T_x \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} T_z T_x T_y \\ T_z T_y T_x \end{matrix}$$

Protože osy x , y jsou z hlediska změn potenciální energie při pohybu mechanismu rovnocenné, tj. , pak pro praktickou realizaci zbývají struktury

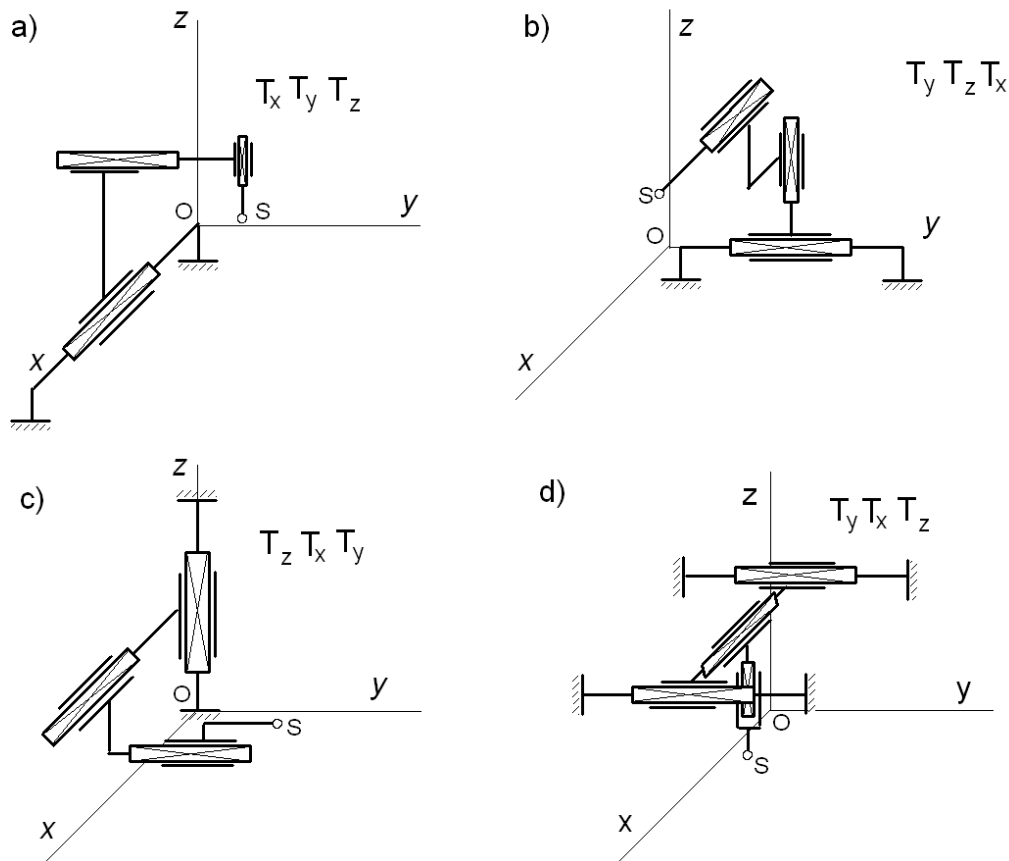
$$T_x T_y T_z$$

$$T_y T_z T_x$$

$$T_z T_x T_y$$

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Možnosti realizace kinematického řetězce TTT



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Požadovaná dráha těžiště objektu - struktura polohovacího ústrojí

Konstrukční řešení účelových robotů a manipulátorů vyžaduje v rámci úvodních úvah o koncepci zařízení **velmi přesnou představu o požadovaném manipulačním prostoru** a způsobu jeho zajištění kinematickým řetězcem polohovacího ústrojí.

Je tedy nutné se zabývat úlohou **zakreslení manipulačního prostoru pro zadaný kinematický řetězec** a také obrácenou úlohou, umět **pro zadaný pracovní prostor sestavit kinematický řetězec** pro jeho obslužení.

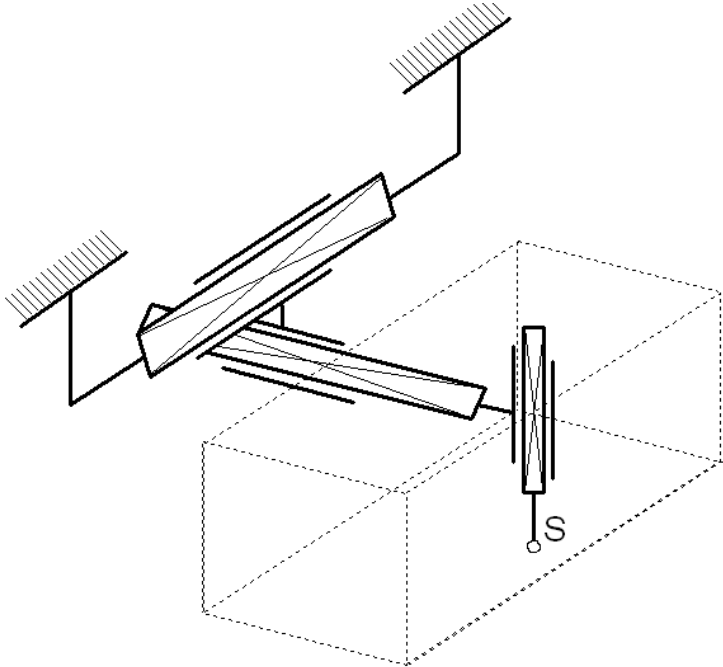
Tři stupně volnosti polohovacího ústrojí umožňují uvažovat o dosažení polohy těžiště objektu, nikoliv jeho náležitou orientaci v prostoru, k tomu je nutné doplnit řetězec robotu o tzv. orientační ústrojí vhodné koncepce.

Základní koncepce kinematické struktury univerzálních PR

Z celé široké škály kinematických struktur je renomovanými výrobci univerzálních robotů přednostně využíváno 5 základních struktur kinematických řetězců polohovacího ústrojí PR:

- typ kartézský,
- typ cylindrický,
- (typ sférický – nahrazen),
- typ angulární,
- typ SCARA,
- paralelní struktury robotů,
- nové struktury s rotačními vazbami,
- vize průmyslových robotů.

1. Typ kartézský



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

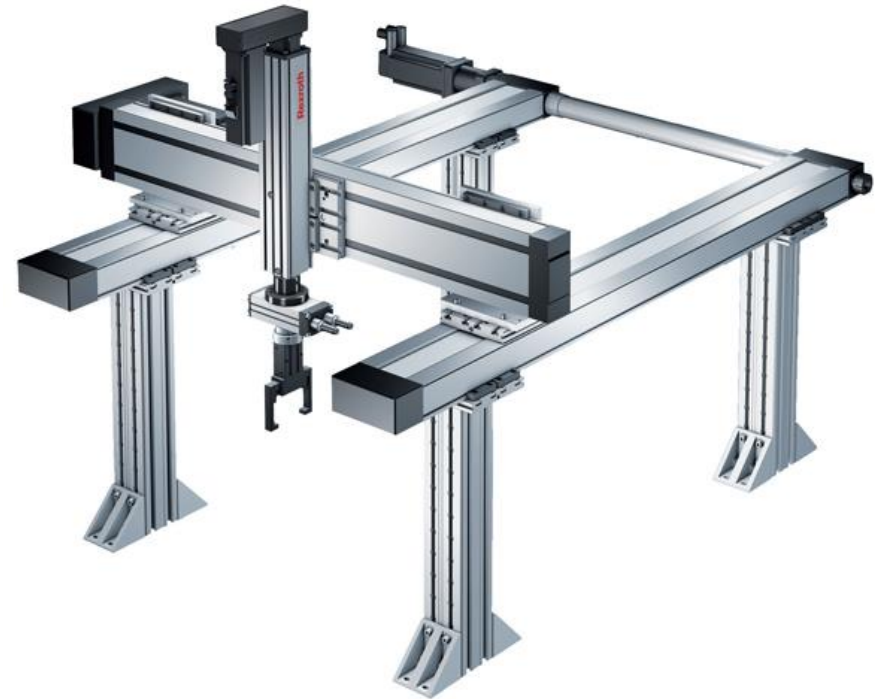
Trend:

Podíl manipulátorů a robotů s touto koncepcí roste.

1. Typ kartézský



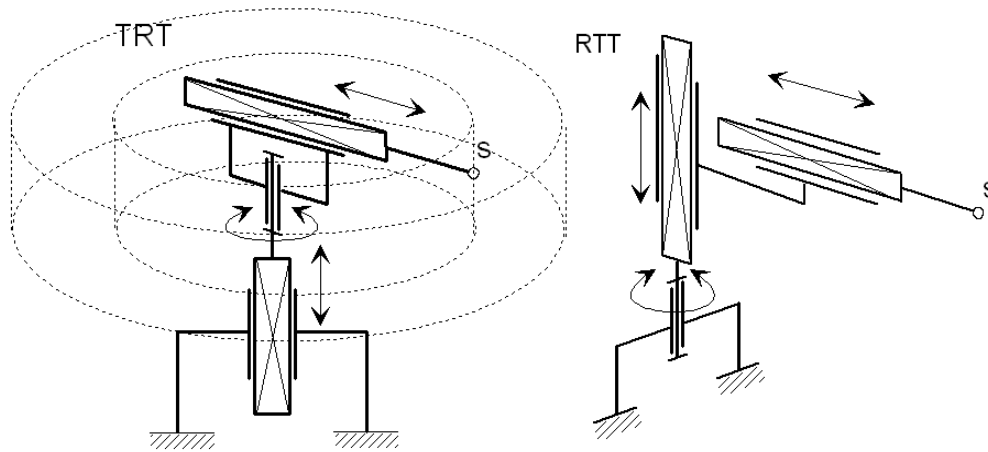
Kartézský robot BA-III Shibaura Machine,
grafika: <https://www.tmrobotics.com/>



Kartézský robot Bosch Rexroth, grafika:
<https://www.machinedesign.com/>

[Video: https://www.youtube.com/watch?v=g6BTI0SaUDM](https://www.youtube.com/watch?v=g6BTI0SaUDM)

2. Typ cylindrický (válcový)



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Trend:

V souvislosti s ústupem hnízdového (pilotového) uspořádání robotizovaných technologických pracovišť a upřednostňováním lineárního layoutu pružných výrobních systémů podíl těchto robotů na celkové produkci spíše klesá.

Polohovací ústrojí tvořeno řetězcem TRT resp. RTT a obsahuje vertikální a horizontální translační jednotku a osa rotace rotační jednotky je svislá.

Jednotky jsou nejčastěji s pneumatickými pohony a s PTP (sekvenčním) řízením (point-to-point).

Pracovním prostorem je válcový prstenec.

Řada manipulátorů a jednoduchých robotů je právě této koncepce.

Z hlediska konstrukce je časté modulární řešení.

2. Typ cylindrický (válcový)



Cylindrický robot SciClops Microplate Handler, Hudson Robotics, grafika: <https://hudsonrobotics.com/>

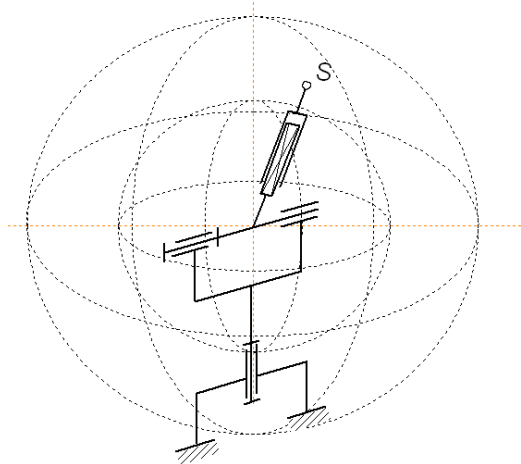


Cylindrický robot FANUC Robot M Model 100, grafika: <https://www.robotix.co.uk/>

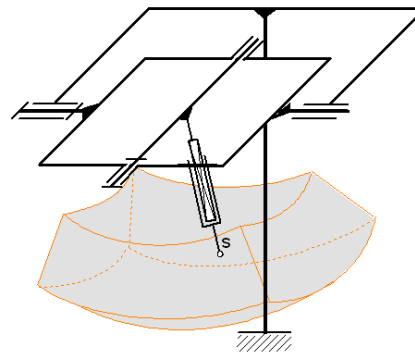
[Video: https://www.youtube.com/watch?v=Hj7PxjeH5y0](https://www.youtube.com/watch?v=Hj7PxjeH5y0)

3. Typ sférický (polární)

Koncepce Unimation :



Koncepce ABB:



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Trend:

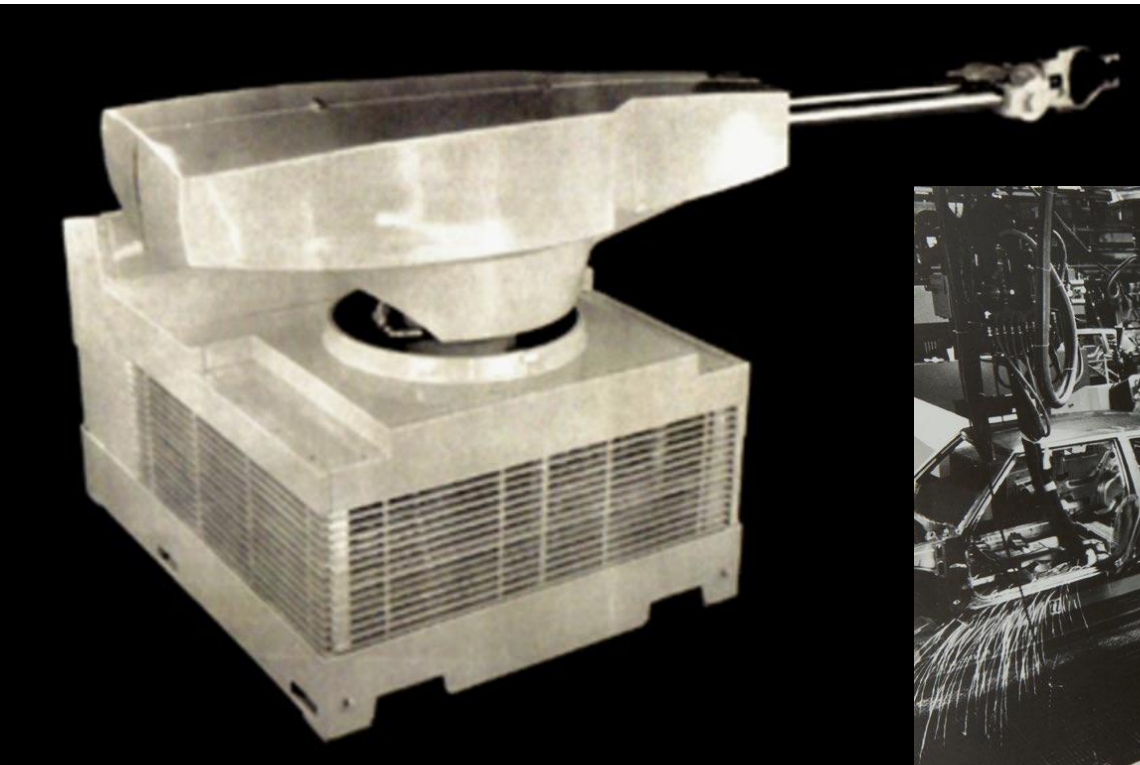
Tato struktura je dnes takřka úplně nahrazena výhodnější strukturou angulární.

Polohovací ústrojí tvořeno kinematickým řetězcem RRT, přičemž obě rotační pohybové jednotky mají osy na sebe kolmé a translace se děje vždy ve směru kolmém na prostřední rotaci.

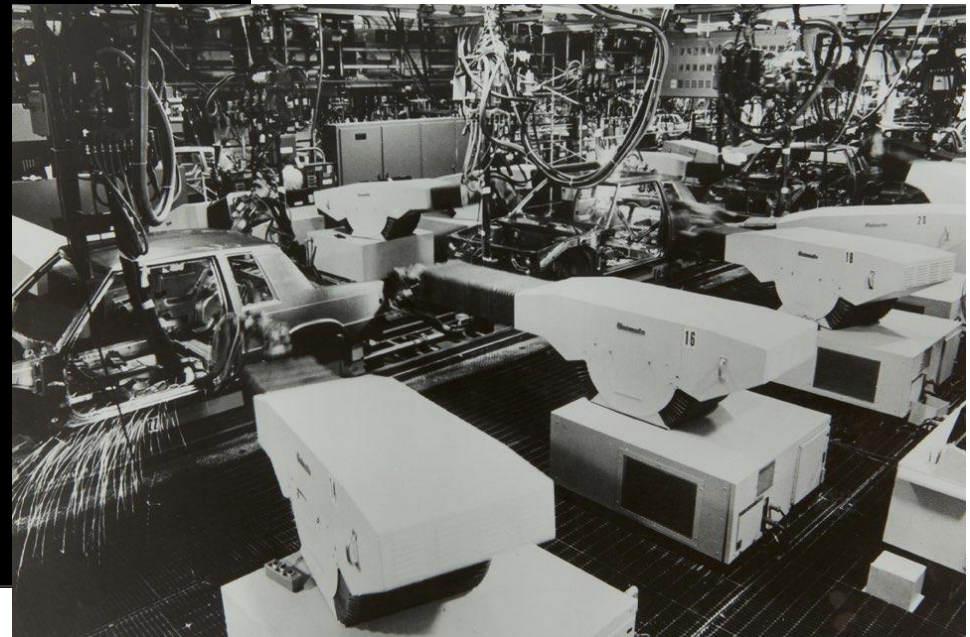
Takto tvořený řetězec pak modeluje sférický souřadný systém.

Tato struktura byla použita poprvé začátkem 70. let pro servořízené roboty firmy Unimate a postupně doznala značného rozšíření pro technologické aplikace v automobilovém průmyslu.

3. Typ sférický (polární)



Sférický robot Unimate, grafika: University of Colorado, Correll Lab

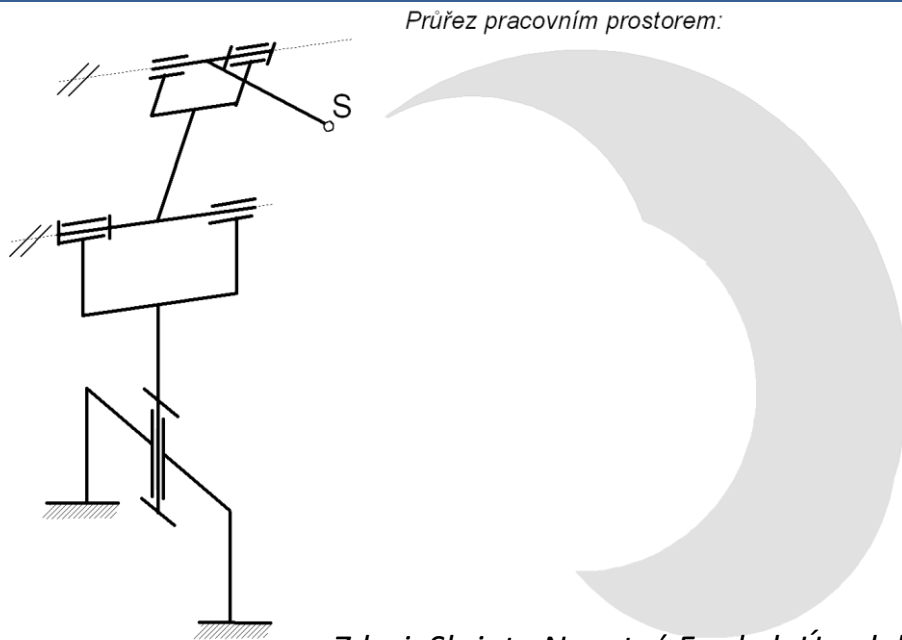


Sférický robot Unimate, grafika:
<https://vocal.media/journal>

Video: <https://www.youtube.com/watch?v=yQeoqHgUeww>



4. Typ angulární (antropomorfní, multiúhlový, kloubový)



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Trend:

Celkový podíl robotů tohoto typu na celkovém počtu vyráběných průmyslových robotů trvale roste a v současné době činí více než 2/3 aplikací.

Polohovacím ústrojím ze tří rotačních jednotek RRR, rotace kolem svislé osy a zbývající osy jsou vodorovné a rovnoběžné.

Orientace mění ve třech osách, je nutné úplné orientační ústrojí se 3° volnosti. Výhodou je anatomičnost a pracovní prostor dovoluje pracovat poblíž osy z, má velmi dobrou manévrovací schopnost (schopnost vyhýbat se překážkám) a vysoký koeficient obslužnosti v celém manipulačním prostoru.

Je výhodný pro technologické aplikace, je jednoznačně aplikováno dráhové řízení a především elektrické servopohony.

4. Typ angulární (antropomorfní, multiúhlový, kloubový)



Řada angulárních robotů značky Kuka,
grafika: <https://www.kuka.com>



Řada angulárních robotů značky ABB, grafika:
<https://www.pngwing.com/en/free-png-ylfaj/download>



Roboty značky FANUC na lince pro svařování karoserií,
grafika: <https://www.gettyimages.fi/>

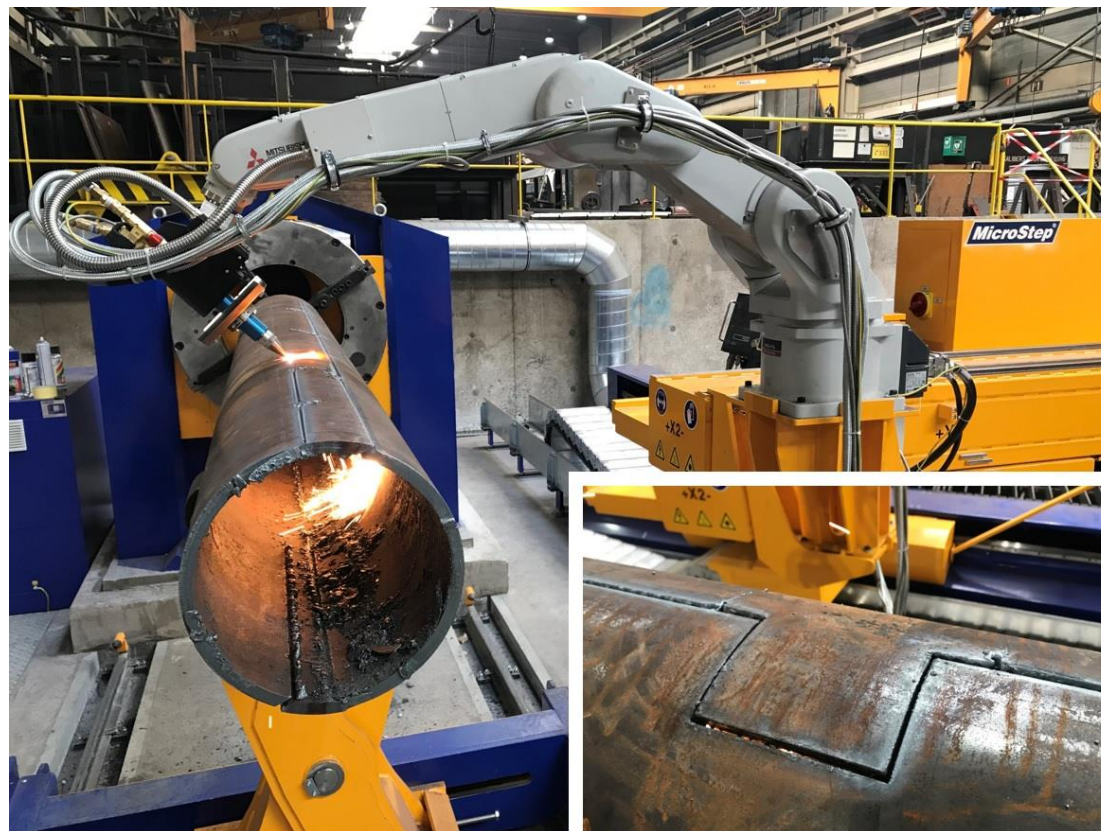
[Video: https://www.youtube.com/watch?v=v46a6Dt-aql](https://www.youtube.com/watch?v=v46a6Dt-aql)

4. Typ angulární (antropomorfní, multiúhlový, kloubový)



Obsluha CNC obráběcích strojů, robot FANUC, grafika: <https://www.fanuc.eu/>

4. Typ angulární (antropomorfní, multiúhlový, kloubový)



*Řezání ocelových polotovarů pomocí plasmu, technologie:
MicroStep, robot Mitsubishi Electric, grafika: <https://www.microstep.eu/>*

4. Typ angulární (antropomorfní, multiúhlový, kloubový)



Použití pro paletizaci, řešení Bastian Solutions robot FANUC, grafika: <https://www.bastiansolutions.com/>

4. Typ angulární (antropomorfní, multiúhlový, kloubový)



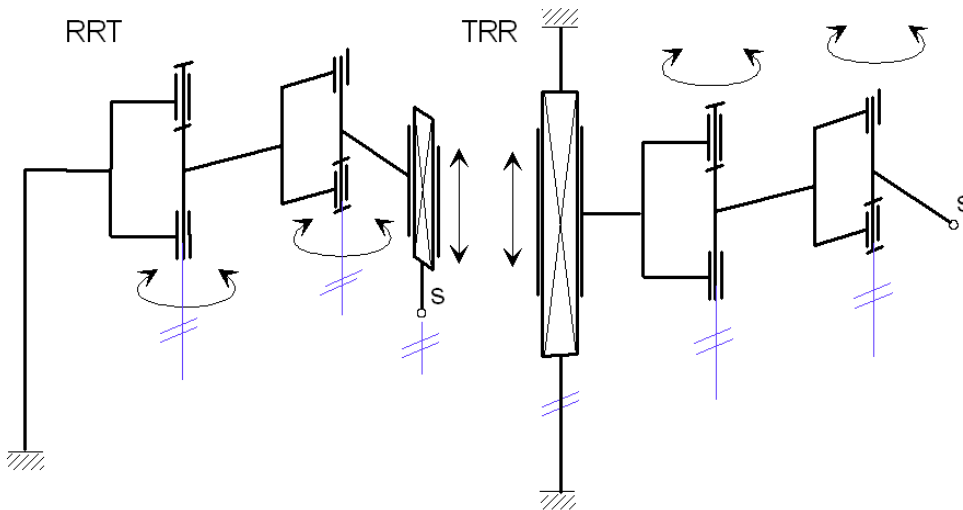
Manipulace s plochým sklem, nosnost robotu KUKA 500 kg, grafika: <https://commons.wikimedia.org/>

4. Typ angulární (antropomorfní, multiúhlový, kloubový)



Zakládání výrobků do pecí, teplotně z odolněné roboty KUKA, grafika: <https://www.youtube.com/>

5. Typ SCARA (z angl. System Compliance Assembly Robot Arm)



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Trend:

V souladu s rozvojem montážních aplikací podíl v posledních 10ti letech výrazně roste a dosahuje cca 15 - 20% podílu na trhu robotů.

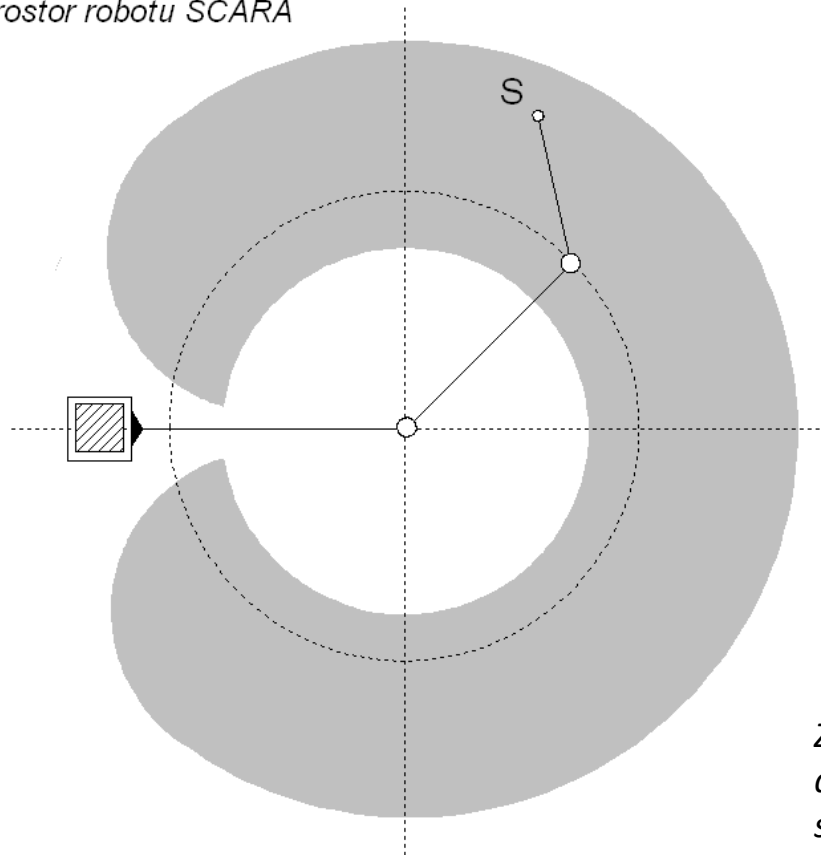
Polohovací ústrojí speciálně vyvinuté pro aplikace v automatické montáži (kinematický řetězcem TRR, resp. RRT), všechny pohybové osy jsou svislé a vzájemně rovnoběžné.

Struktura je výhodná pro montážní i technologické účely s možností přesného polohování (běžná přesnost $\pm 0,05$ mm) a značných rychlostí v horizontální rovině (běžně 4 - 6 m.s⁻¹).

Pohony jsou dnes výhradně tvořeny elektrickými EC servopohony a je zde aplikováno dráhové CNC řízení a obvykle je produkce orientována na nosnosti 5 až 10 kg.

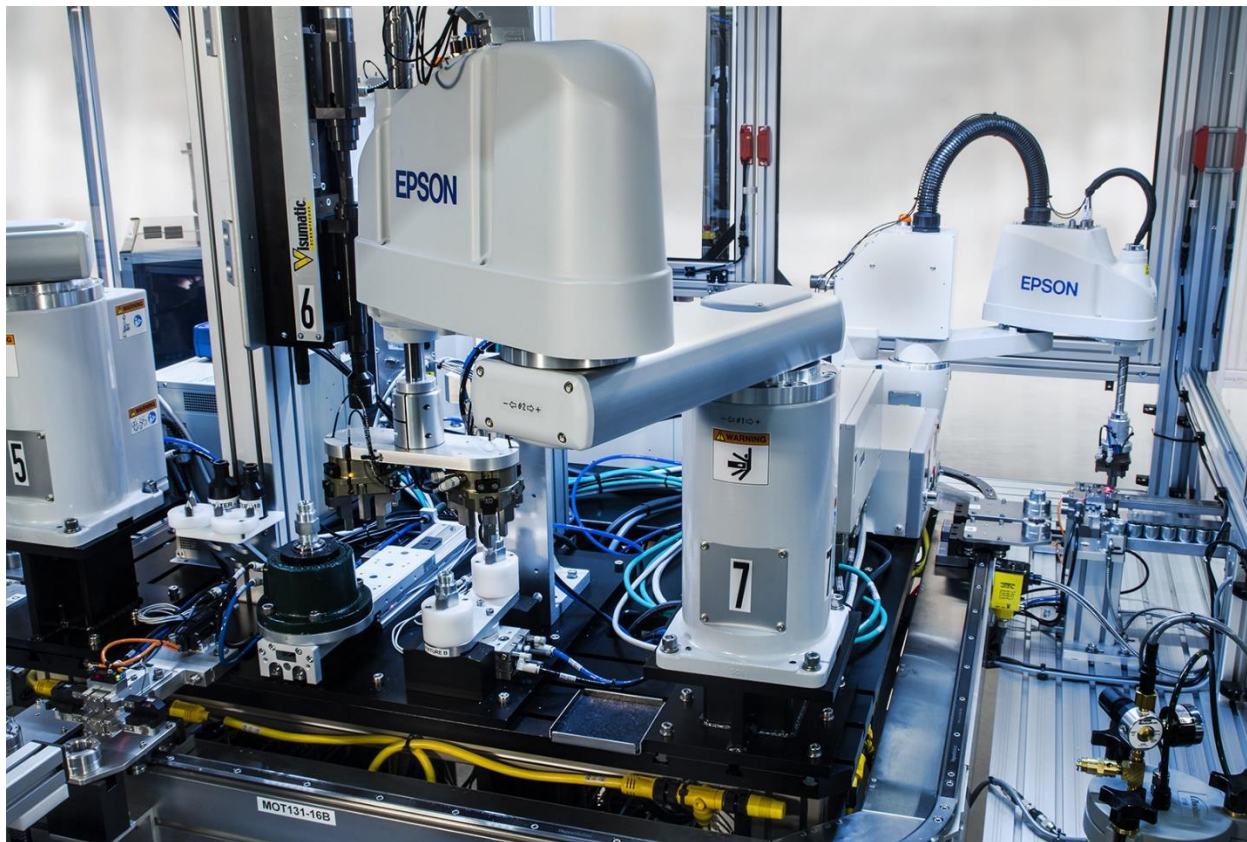
5. Typ SCARA (z angl. System Compliance Assembly Robot Arm)

Pracovní prostor robotu SCARA
(půdorys):



Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

5. Typ SCARA (z angl. System Compliance Assembly Robot Arm)



Montáž pomocí robotů SCARA Značky EPSON, grafika: <https://www.roboticsbusinessreview.com/>

[Video: https://www.youtube.com/watch?v=vKD20BTkXhk](https://www.youtube.com/watch?v=vKD20BTkXhk)

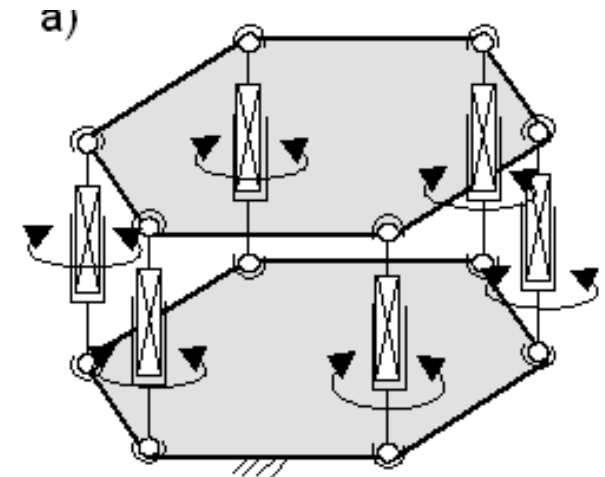
6. Paralelní struktury robotů

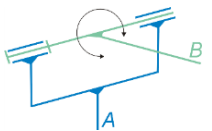
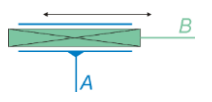
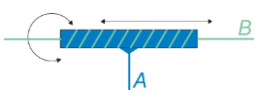
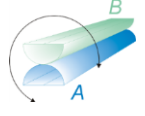
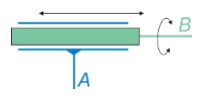
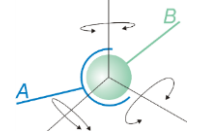
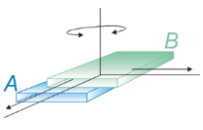
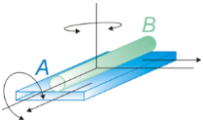
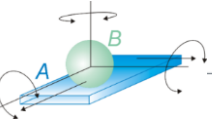
V poslední době nalézají uplatnění tzv. paralelní struktury kinematických řetězců, které vzniknou obecně připojením výstupních členů soustavy na rám prostřednictvím několika klasických sériových řetězců.

V praxi se pak přednostně uplatňují různé variace Stewartovy plošiny v současnosti nejčastěji v hexapodním uspořádání (z lat. Hexapod = šestinožec).

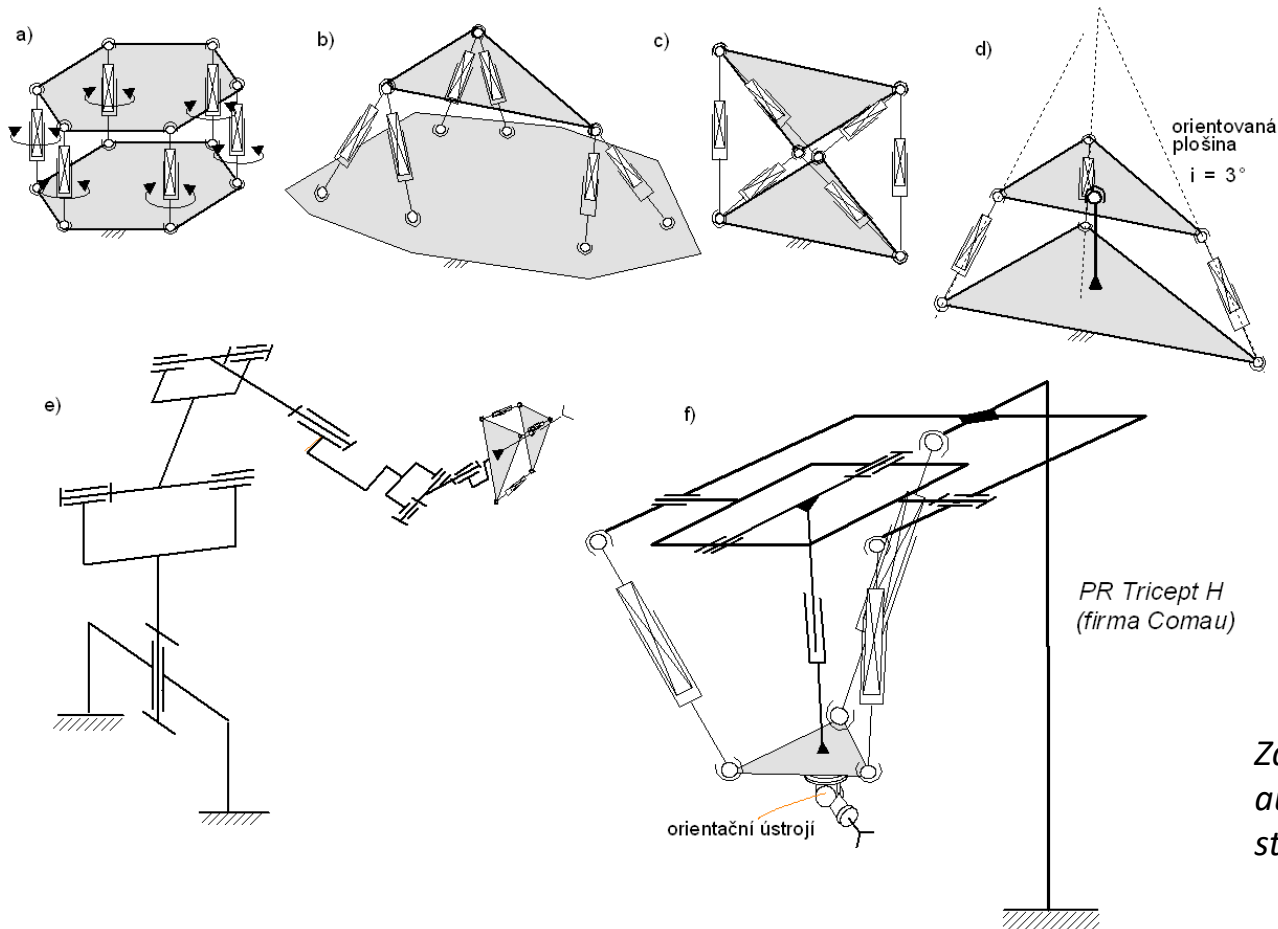
Toto uspořádání obsahující posuvnou kinematickou dvojici a připojené na rám pomocí sférických kinematických dvojic dává plošině 6° volnosti (výpočtem $i = 6 \cdot (14 - 1) - 5 \cdot 6 - 3 \cdot 12 = 12^\circ$ a po odečtení 6-ti nadbytečných rotací $isk = 6^\circ$).

Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.



NÁZEV	SCHÉMA	POHYBLIVOST $B:A \Rightarrow i$	SYMBOL	TŘÍDA $j = 6 - i$
ROTAČNÍ		1°	R	5
POSUVNÁ		1°	T	5
ŠROUBOVÁ		1°	H	5
VALIVÁ		1°	V	5
VÁLCOVÁ		2°	C	4
SFÉRICKÁ		3°	S	3
ROVINNÁ		3°	F	3
VÁLEC NA ROVINĚ		4°	-	2
OBEČNÁ		5°	O	1

6. Paralelní struktury robotů

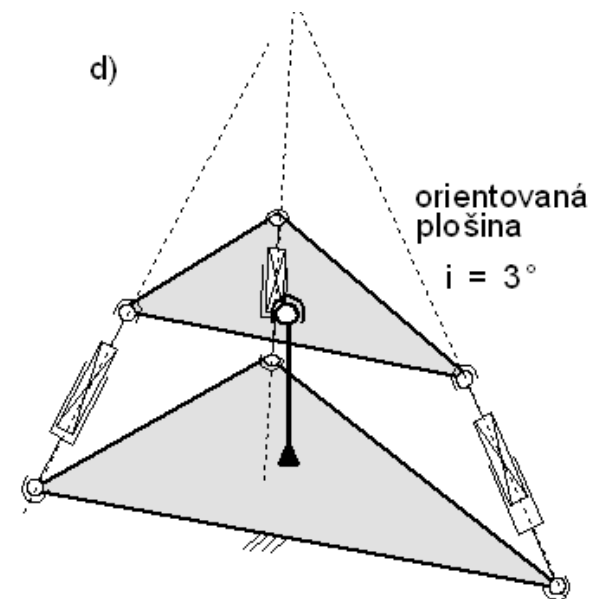


Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

Princip aplikace paralelních kinematických struktur: a – princip Stewartovy plošiny; b, c – výhodnější varianty; d – orientovaná plošina; e, f – příklady aplikace u PR

6. Paralelní struktury robotů

Připojením plošiny na rám pomocí sférického uložení odebereme strukturu 3°volnosti a dostáváme tzv. orientovanou plošinu (Obr. d, e), která má výhodné aplikační vlastnosti v systémech pasivní i aktivní kompenzace chyb prostorové orientace a s výhodou nalézá uplatnění také v realizaci automatické montáže. Variace struktur b) a c) jsou součástí koncepčních řešení obráběcích center (firmy Geodetics a Intersoll).

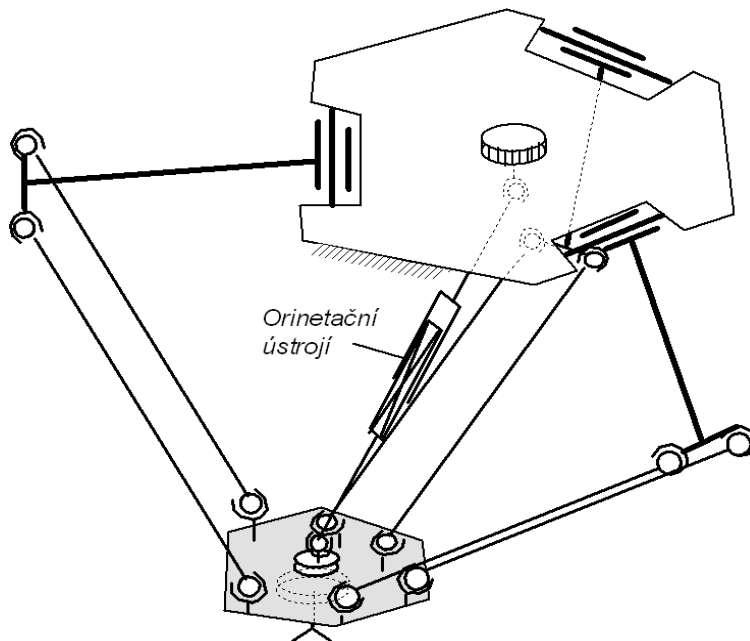


Zdroj: Skripta Novotný F. a kol: Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství. TUL 2020.

6. Paralelní struktury robotů

Častou strukturou aplikovanou pro jednoduchou rychlou manipulaci je tzv. DELTA robot.

a) schéma DELTA robotu



b) Ukázkové provedení Flex Picker (firma ABB)



Grafika: <https://new.abb.com/>

[Video: https://www.youtube.com/watch?v=v9oeOYMRvuQ](https://www.youtube.com/watch?v=v9oeOYMRvuQ)

6. Paralelní struktury robotů



Robot FlexPicker ABB IRB 360, grafika: <https://new.abb.com/>

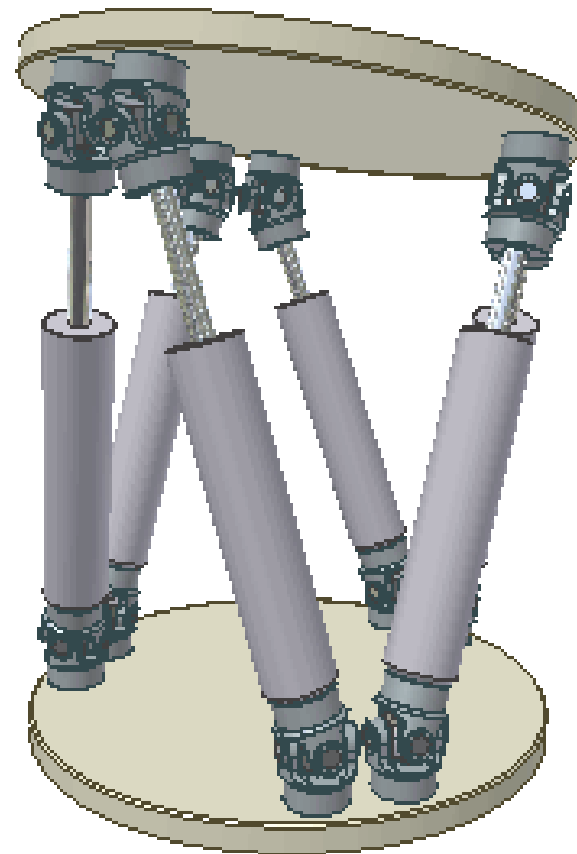


Robot Delta FANUC M-1iA/0.5S, grafika: <https://www.fanuc.eu/>

6. Paralelní struktury robotů

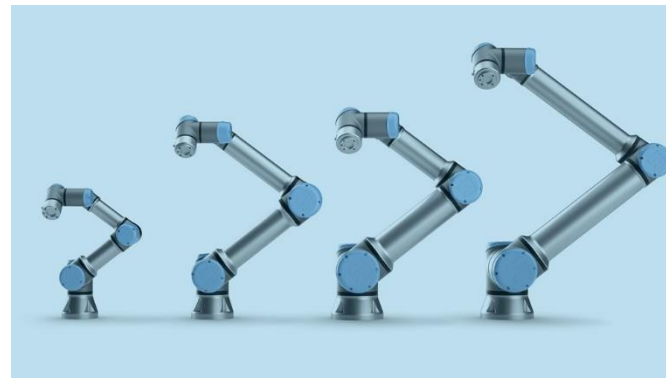
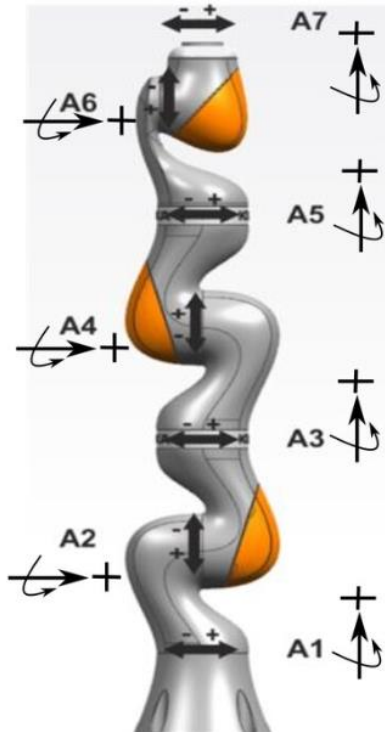


Paralelní struktura FANUC Robotics F-200iB,
grafika: <https://www.flexibleassembly.com/>

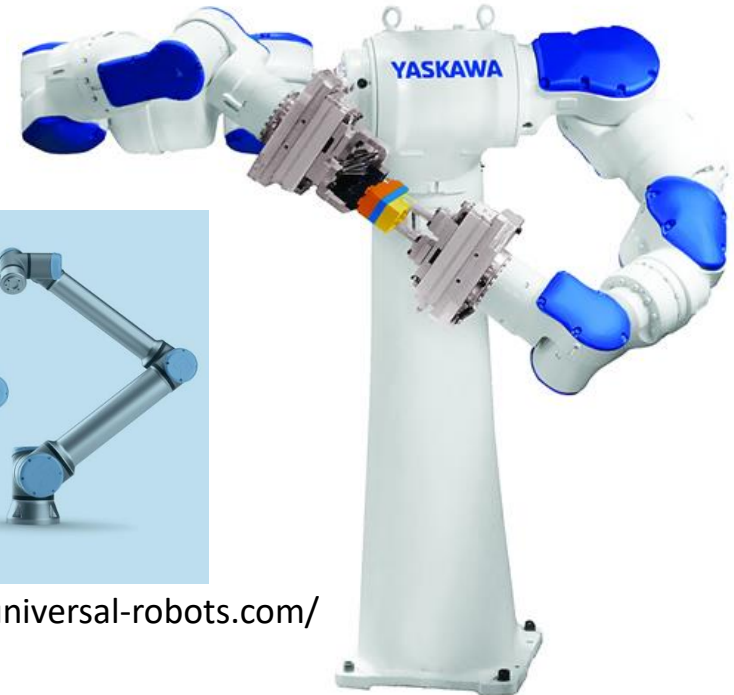


Paralelní struktura, grafika:
<https://www.flexibleassembly.com/>

7. Nové struktury s rotačními vazbami



UR robot, grafika: <https://www.universal-robots.com/>



Kolaborativní robot LBR iiwa , grafika:
https://www.researchgate.net/publication/338846000_Repeatability_measurement_and_kinematic_identification_of_LBR_iiwa_7_R800_using_monocular_camera/figures?lo=1

Robot Yaskawa SDA5D - dvouramenný, 15osý
robot určený pro komplexní montáž a
manipulaci s malými díly:
<https://www.motoman.com//>

Video: <https://www.youtube.com/watch?v=O0sjcBNy5f0>

8. Vize průmyslových robotů



*Robot s hadím ramenem od společnosti
OC Robotics , grafika:
<https://www.ocrobotics.com/>*

Video:
[https://www.youtube.com/watch?app=desktop
&v=FgUR1IwNT_E](https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=FgUR1IwNT_E)



Nová generace humanoidních kolaborativních robotů schopných vykonávat různé průmyslové práce, grafika: <https://roboticsandautomationnews.com/2017/10/09/japanese-companies-prepare-to-bring-forward-new-generation-of-versatile-humanoid-collaborative-robots-capable-of-a-variety-of-industrial-applications/14436/>

Průmyslové roboty a manipulátory

*Koncepce strukturálního uspořádání kinematického řetězce účelových manipulátorů bývá ve větší míře **podřízena konkrétní aplikaci**. V současné době jsou též široce aplikovány **modulární manipulátory**, které mají širokou variabilitu v koncepci kinematického řetězce a v konstrukčním provedení jednotlivých pohybových jednotek.*

Cílem této kapitoly bylo ukázat souvislost mezi kinematickým řetězcem robotů, jejich vlastnostmi, aplikačními možnostmi a vhodností pro použití příslušného typu pohonu. Je požadována orientace v této problematice a schopnost na první pohled umět rozpoznat základní typy struktury průmyslových robotů.

Příště: Manipulační prostor a manipulační možnosti

Literatura

NOVOTNÝ, František, Vlastimil HOTAŘ, Marcel HORÁK, Marie STARÁ a Michal STARÝ. *Úvod do automatizace a robotizace ve strojírenství* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2020 [cit. 2023-10-19]. ISBN 978-80-7494-545-8. Dostupné z: <https://etul.publi.cz/book/1275-uvod-do-automatizace-a-robotizace-ve-strojirenstvi>.

IFR: World Robotics Service Robots [online]. 19. 9. 2023 [cit. 2023-09-25]. Dostupné z: <https://ifr.org/free-downloads/>

TRIOM: Manipulační technika [online]. [cit. 2019-11-01]. Dostupné z: <http://triom.cz/>

KUKA: Robotické systémy [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/>

FANUC: Průmyslové roboty [online]. [cit. 2019-01-19]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty>

ABB: Robotika [online]. [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: https://new.abb.com/products/robotics?_ga=2.202486545.1417283177.1634636668-2120825869.1623753433

GOOGLE: Picture [online]. [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.google.com/>