

## Lucrarea 2

### Măsurarea sistemului de referință atașat unui obiect din mediul robotului<sup>1</sup> (atașat piesei manipulate de către un robot industrial)

#### Scopul lucrării:

- Determinarea și măsurarea sistemului de referință atașat piesei manipulate din sistemul robot;
- Modalitatea de utilizare a matricilor de trecere din sistemul de referință atașat piesei în sistemul de referință atașat bazei robotului.

#### Noțiuni teoretice

##### Introducere

Sistemul de referință atașat unei piese se definește de către utilizator. Se impune condiția ca acest sistem să fie un sistem tri-ortogonal drept. Determinarea unui sistem de referință cartezian drept, în 3 etape, este prezentată în figura 2.1.

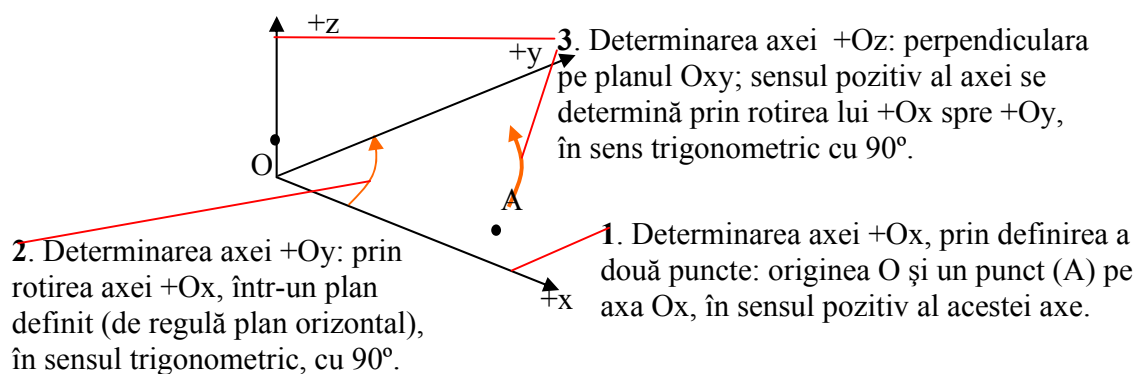


Figura 2.1. Generarea unui sistem de referință cartezian drept

În figura 2.2 se prezintă un exemplu de piesă (componentă mobilă a mediului robotului), căreia i s-a atașat un sistem de referință definit după regula de mai sus.

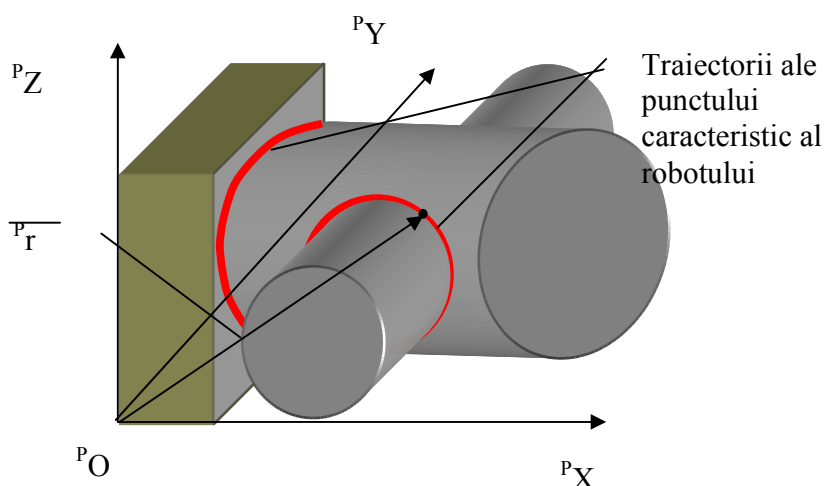


Figura 2.2. Exemplu de piesă pentru sudare robotizată (liniile roșii reprezintă cusăturile de sudare) cu sistemul de referință atașat piesei

Notățiile din figura 2.2:  
 $P_O$ : originea sistemului de referință atașat piesei  
( $P$ =obiect de lucru, piesă)

<sup>1</sup> Mediul robotului este sistemul de componente care se află în spațiul în care are acces robotul. Componentele pot fi imobile în timpul funcționării robotului (batiuri de mașini unelte, mese, conveioare, etc), cu ele robotul nu trebuie să intre în coliziune, și/sau pot fi mobile (piese de manipulat, repere de sudat, etc) față de care robotul trebuie să se miște conform programului său de funcționare.

$^P X, ^P Y, ^P Z$ : axa  $OX$ , respectiv  $OY, OZ$  a sistemului de referință atașat piesei ( $P$ ).

Un punct caracteristic atașat obiectului de lucru este cel mai adesea centrul de greutate al piesei, dacă utilizatorul nu îl definește altfel.

Punctul caracteristic al robotului se definește un funcție de aplicația în care acesta lucrează. În cazul sudării cu electrod purtat de către robot, vârful electrodului este definit ca punct caracteristic, acesta se mai numește și punct al centrului sculei (TCP=Tool Center Point).

În cazul unei aplicații de sudare robotizate, de cele mai multe ori trebuie să mișcăm relativ TCP-ul robotului în raport cu muchiile componentelor ansamblului de sudat,  $P$  (figura 2.3).

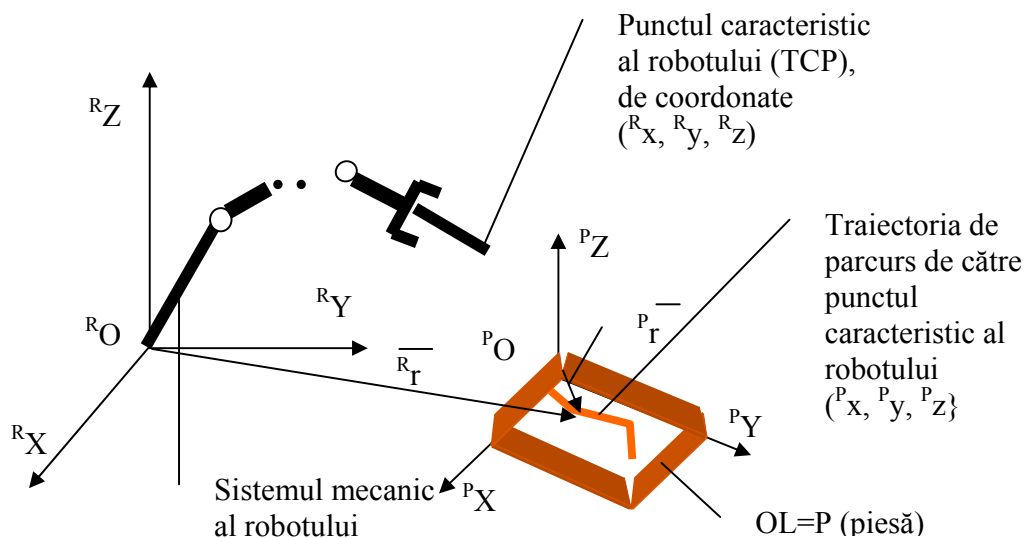


Figura 2.3. Sisteme de referință atașate bazei robotului și obiectului de lucru

În figura 2.3 s-a reprezentat un sistem de referință notat cu  $^R O \ ^R X \ ^R Y \ ^R Z$ , prin similitudine cu notația din figura 2.2, este sistemul de referință atașat bazei robotului. Acest sistem de axe tri-ortogonal drept este definit de către producătorul robotului și nu se poate vizualiza de către utilizator/programator. Punctul caracteristic al robotului se poate mișca în raport cu acest sistem de referință, fie cu comandă manuală fie prin program.

De cele mai multe ori se cunosc coordonatele punctelor de pe OL ( $P$ ), în raport cu sistemul de referință atașat  $P$ ,  $^P O \ ^P X \ ^P Y \ ^P Z$ . Acestea sunt determinabile foarte ușor, în cazul în care se dispune de modelul piesei, realizat în orice program utilitar CAD.

Pentru ca să se realizeze o aplicație robotizată, ar trebui ca robotul să miște TCP-ul său pe traiectoria reprezentată pe OL ( $P$ ), în figura 2.3.

Realizarea acestui deziderat se face în două variante:

- programatorul comandă manual robotul, astfel încât TCP-ul robotului să treacă prin cât mai multe puncte de pe piesă, după care se învață pozițiile robotului și se scrie programul, metoda se numește "Teach-in";
- programatorul determină poziția și orientarea sistemului de referință atașat OL față de sistemul de referință atașat bazei robotului, după care toate coordonatele punctelor de pe OL, cunoscute din CAD, sunt transformate matematic în coordonate ale punctelor în raport cu baza robotului. Aceste coordonate definesc pozițiile necesare ale robotului în programul aplicației.

## Metodologia de lucru

Fie un sistem de referință atașat unui obiect din spațiul de lucru al robotului (figura 2.4).

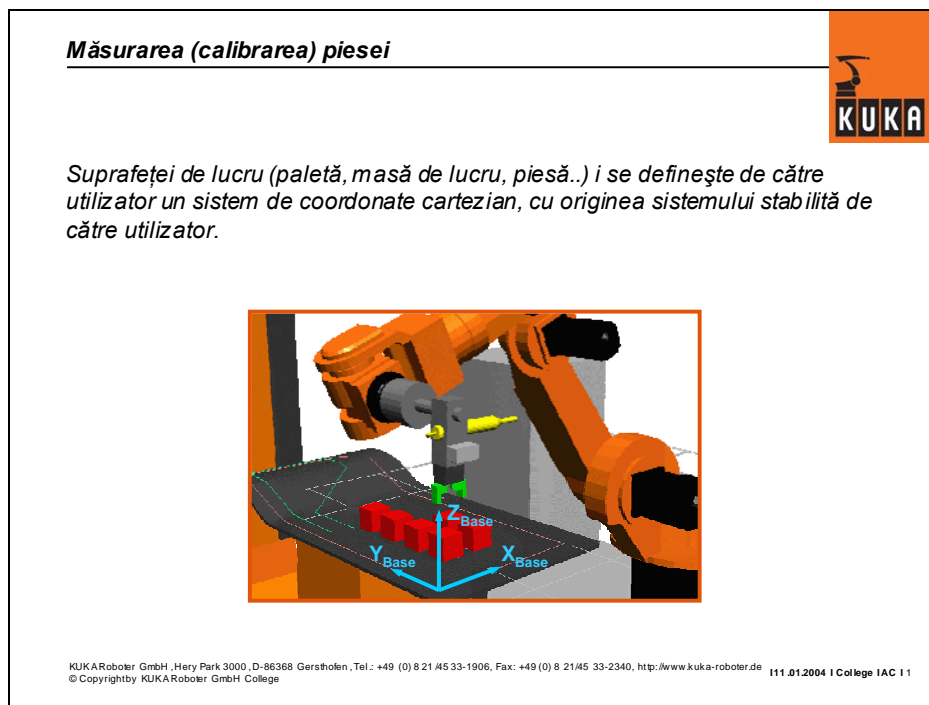


Figura 2.4. Sistemul de referință atașat OL (notat în figură cu Base)

1. Se deplasează TCP-ul robotului în originea sistemului de referință atașat piesei (figura 2.5).

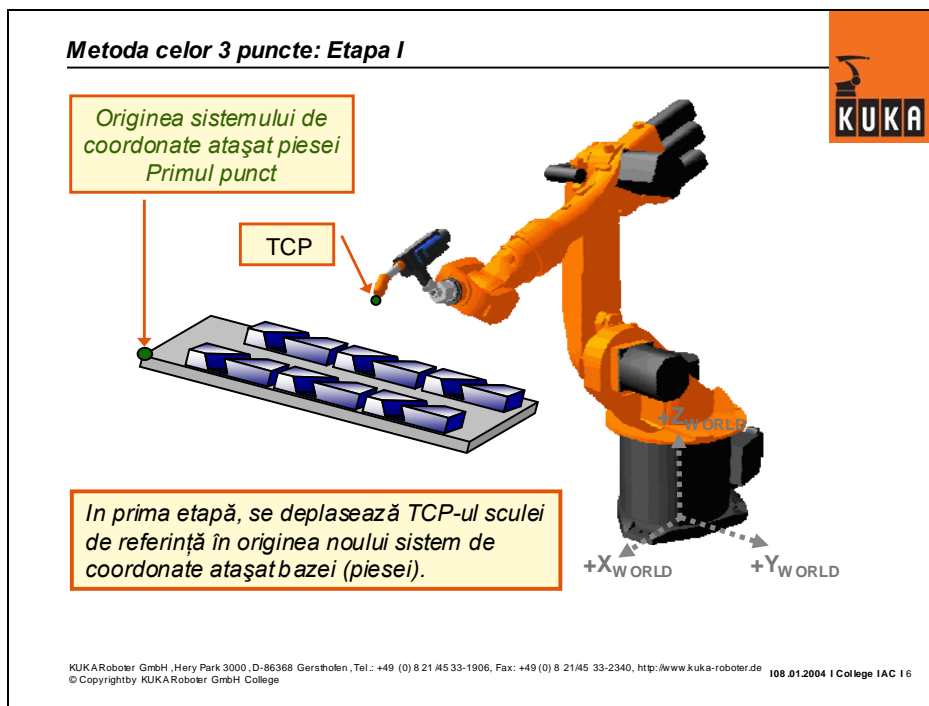


Figura 2.5. TCP în originea sistemului de referință atașat piesei

2. Se deplasează TCP-ul într-un punct pe axa OX, pe sensul pozitiv al axei.

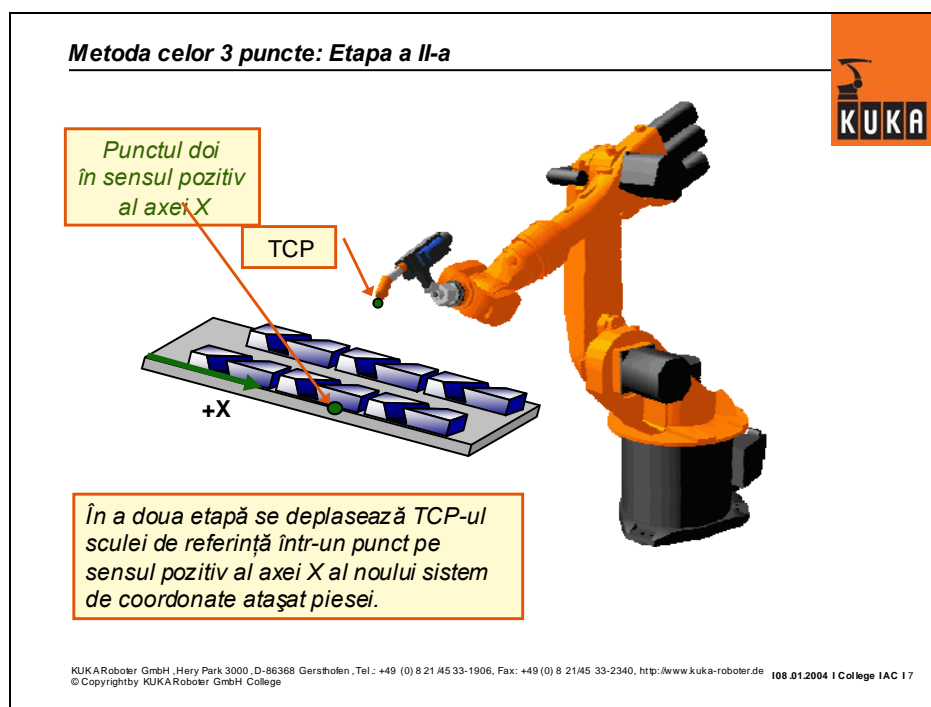


Figura 2.6. TCP-ul într-un punct pe +OX

3. Se deplasează TCP-ul într-un punct din planul determinat de +OX și +OY.

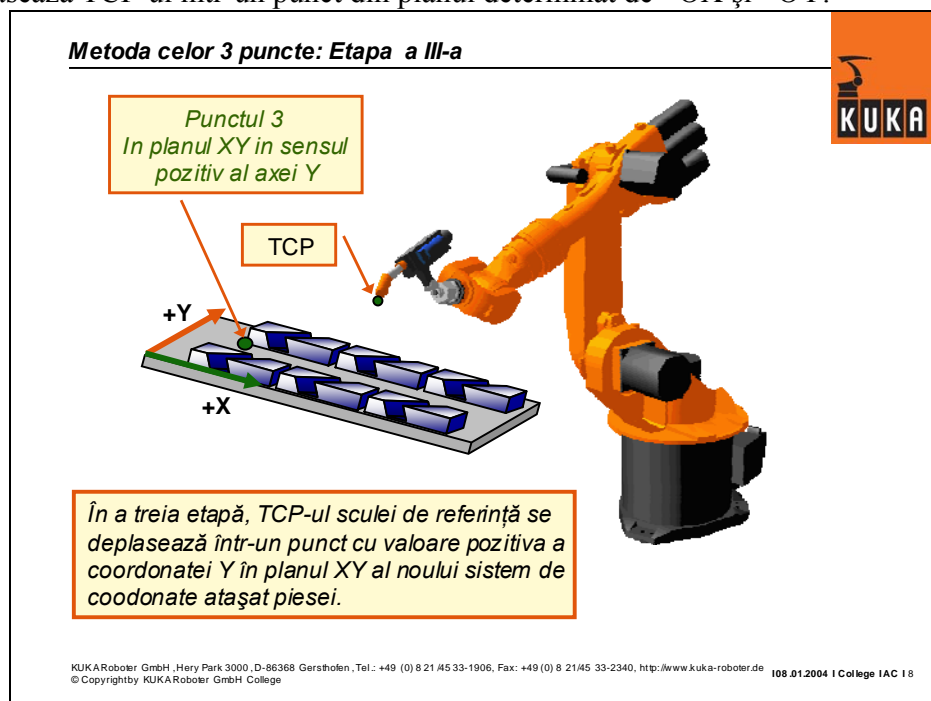


Figura 2.7. TCP-ul într-un punct din planul OXY cu sensurile pozitive ale ambelor axe

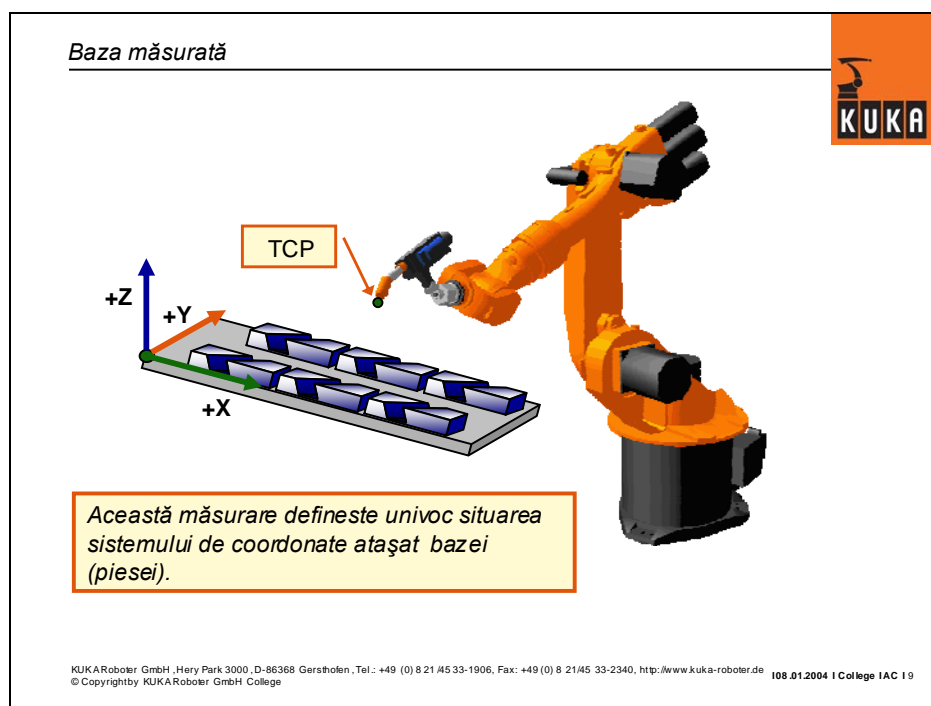


Figura 2.8. Sistemul de referință atașat piesei, determinat univoc față de sistemul de referință atașat bazei robotului

În cazul în care planul XOY este orizontal, realizarea etapei a III-a nu este necesară. Această ipoteză simplificatoare este luată în considerare în lucrare.

Pentru fiecare dintre etapele 1-2, utilizatorul va deplasa axele robotului prin intermediul panoului de învățare. Când TCP-ul este în poziția dorită, se va tasta LISTPV POSITION, iar pe ecranul monitorului se va afișa:

1: -1250      2: 4638      3: -3263      4: 3019      5: 265  
X: 1627      Y: 283      Z: 5004      P: -567      R: 382.

Semnificația cifrelor afișate pe ecranul monitorului: 1, 2, 3, 4, 5 sunt axele comandate ale robotului, cifrele care urmează reprezintă numărul de impulsuri înregistrate de către traductoarele de poziție ale axelor corespunzătoare. XYZ sunt coordonatele carteziene ale punctului caracteristic al robotului în raport cu sistemul de referință atașat bazei robotului (R), valorile sunt afișate în zecimi de mm. P, R sunt unghiurile de orientare ale sistemului de referință atașat punctului caracteristic.

Se vor nota doar valorile corespunzătoare afișate în cele 3 etape  ${}^R X_i, {}^R Y_i, {}^R Z_i$ ,  $i=1-2$ .

Se deplasează TCP-ul robotului în două puncte de pe obiectul de lucru, de coordonate cunoscute ( ${}^P X_j, {}^P Y_j, {}^P Z_j$ ),  $j=3,4$ , în raport cu sistemul de referință atașat piesei (P). Se notează, similar cum cele de mai sus,  ${}^R X_3, {}^R Y_3, {}^R Z_3; {}^R X_4, {}^R Y_4, {}^R Z_4$ .

Se va aplica modelul matematic de calcul al matricii de trecere din sistemul de referință atașat piesei față de cel atașat bazei robotului, se vor calcula coordonatele punctului 3 și 4 față de sistemul de referință atașat bazei robotului și se vor compara rezultatele obținute cu valorile notate anterior, ( ${}^R X_3, {}^R Y_3, {}^R Z_3; {}^R X_4, {}^R Y_4, {}^R Z_4$ ).

## Modelul matematic

Se va calcula matricea de trecere din sistemul de referință atașat piesei în sistemul de referință atașat robotului, adică  ${}^R T_P$ .

$${}^R T_P = \begin{bmatrix} \cos(X_R, X_P) & \cos(X_R, Y_P) & \cos(X_R, Z_P) & {}^R x_{O_P} \\ \cos(Y_R, X_P) & \cos(Y_R, Y_P) & \cos(Y_R, Z_P) & {}^R y_{O_P} \\ \cos(Z_R, X_P) & \cos(Z_R, Y_P) & \cos(Z_R, Z_P) & {}^R z_{O_P} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

unde  ${}^R x_{O_P}$ ,  ${}^R y_{O_P}$ ,  ${}^R z_{O_P}$  sunt coordonatele originii sistemului de referință atașat OL, adică  ${}^R X_1$ ,  ${}^R Y_1$ ,  ${}^R Z_1$ . Cosinuzii directori  $\cos(Z_R, X_P)=\cos(Z_R, Y_P)=\cos(X_R, Z_P)=\cos(Y_P, Z_R)=\cos(90^\circ)=0$ ,  $\cos(Z_R, Z_P)=\cos(0^\circ)=1$  în ipoteza că axele  ${}^R OZ$  și  ${}^P OZ$  au direcția verticală.

Se calculează unghiul  $\angle(X_R, X_P)=\alpha$ , astfel:

$$A = \tan \alpha = \frac{|{}^R Y_2 - {}^R Y_1|}{|{}^R X_2 - {}^R X_1|} \quad (2.2)$$

$$t = \left( \tan \frac{\alpha}{2} \right) = \frac{-1}{A} + \frac{\sqrt{1+A^2}}{A} \quad (2.3)$$

$$\cos(\alpha) = \frac{1-t^2}{1+t^2} \quad (2.4)$$

Cazuri conform cadranelor trigonometrice (fig. 2.9)	Dacă...	Atunci....
I	$({}^R X_2 - {}^R X_1) > 0$ și $({}^R Y_2 - {}^R Y_1) > 0$	$\angle(X_R, X_P) = \arccos(\cos(\alpha))$ (2.4)
II	$({}^R X_2 - {}^R X_1) < 0$ și $({}^R Y_2 - {}^R Y_1) > 0$	$\angle(X_R, X_P) = \pi - \arccos(\cos(\alpha))$
III	$({}^R X_2 - {}^R X_1) < 0$ și $({}^R Y_2 - {}^R Y_1) < 0$	$\angle(X_R, X_P) = \pi + \arccos(\cos(\alpha))$
IV	$({}^R X_2 - {}^R X_1) > 0$ și $({}^R Y_2 - {}^R Y_1) < 0$	$\angle(X_R, X_P) = 2\pi - \arccos(\cos(\alpha))$

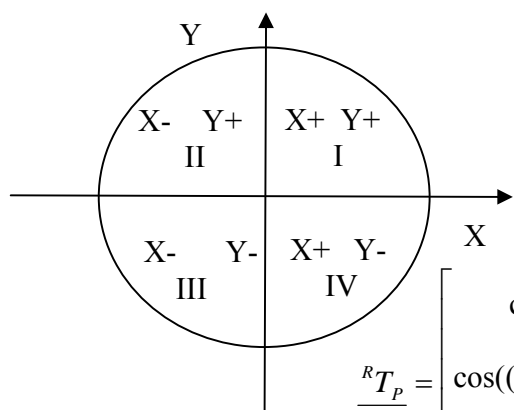


Figura 2.9. Semnele absciselor și ordonatei pentru încadrarea unghiurilor în cele 4 cadrane

Matricea de trecere din sistemul de referință atașat piesei (P) în sistemul de referință atașat bazei robotului (R) devine:

$${}^R T_P = \begin{bmatrix} \cos(X_R, X_P) & \cos((X_R, X_P) + \frac{\pi}{2}) & 0 & {}^R X_1 \\ \cos((X_R, X_P) + \frac{3 \cdot \pi}{2}) & \cos(X_R, X_P) & 0 & {}^R Y_1 \\ 0 & 0 & 1 & {}^R Z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Se calculează vectorul de poziție al punctului 3, 4, adică  ${}^R r_{3,4} = {}^R T_P \cdot {}^P r_{3,4}$  și rezultatele se compară cu valorile obținute la punctul anterior  ${}^R X_3$ ,  ${}^R Y_3$ ,  ${}^R Z_3$ ;  ${}^R X_4$ ,  ${}^R Y_4$ ,  ${}^R Z_4$ .

**Temă pentru acasă:** să se calculeze matricea de trecere  ${}^R T_P$  și vectorul de poziție  ${}^R r_{3,4}$  pentru valorile din cele 4 poziții ale robotului, individuale pentru fiecare student.