## Informasjon om eksamen

# EKSAMEN

**Emnekode og -navn:**
ITD37018 Anvendt robotteknikk

**Dato og tid:**
18.12.20, 3 timer

**Fagansvarlig:**
Haris Jasarevic

**Hjelpemidler:**
Ingen hjelpemidler

**Om eksamensoppgaven:**
Oppgavesettet består av 10 oppgaver som alle skal besvares.

**Sensurfrist: 13.1.21**
Resultatene blir publisert i Studentweb.

# 1 Oppgave1

Svar på følgende:

1. Hva er en seriell robot?
2. Hva er forskjellen mellom et ledd (Joint) og kobling (link) for serielle roboter?
3. Beskriv 2 forskjellige ledd som kan forekomme på tradisjonelle serielle roboter. Beskriv ved hjelp av figurer.
4. Hva gjør en seriell robot redundant?

**Skriv ditt svar her**

Format B I U $x_2$ $x^2$ $I_x$ Ω Σ ABC

Words: 0

Maks poeng: 5

## 2 Oppgave2

Under ulike posisjoner av en robots TCP, hva vil det si at en robot har flere konfigurasjoner? Beskriv ved hjelp av en figur og seriell robot du velger selv.

**Skriv ditt svar her**

Format

Words: 0

Maks poeng: 3

# 3 Oppgave3

Du har følgende sekvens av rotasjoner:

1. Rotasjon av $\alpha$ rundt $y - aksen$ til gjeldende-plan.
2. Rotasjon av $\theta$ rundt $x - aksen$ til base-planet.
3. Rotasjon av $\psi$ rundt $y - aksen$ til gjeldende-plan.
4. Rotasjon av $\phi$ rundt $z - aksen$ til gjeldende-plan.

Skriv matriseproduktet i riktig rekkefølge ut ifra overnevnte rotasjoner. **Ikke** gjør en matrisemultiplikasjon. Bruk tallene 1,2,3,4, sett dem i riktig rekkefølge og sorter dem etter komma.

**Skriv ditt svar her**

Format B I U $x_2$ $x^2$ $I_x$ Ω Σ

Words: 0

Maks poeng: 3

## 4 Oppgave4

Hvorfor benyttes Homogene-transformasjonsmatriser i robotikk? Hva er fordelen, hva består de av og hva ivaretar matrisene? Beskriv ved hjelp av å sette opp en generisk homogen transformasjonsmatrise.

**Skriv ditt svar her**

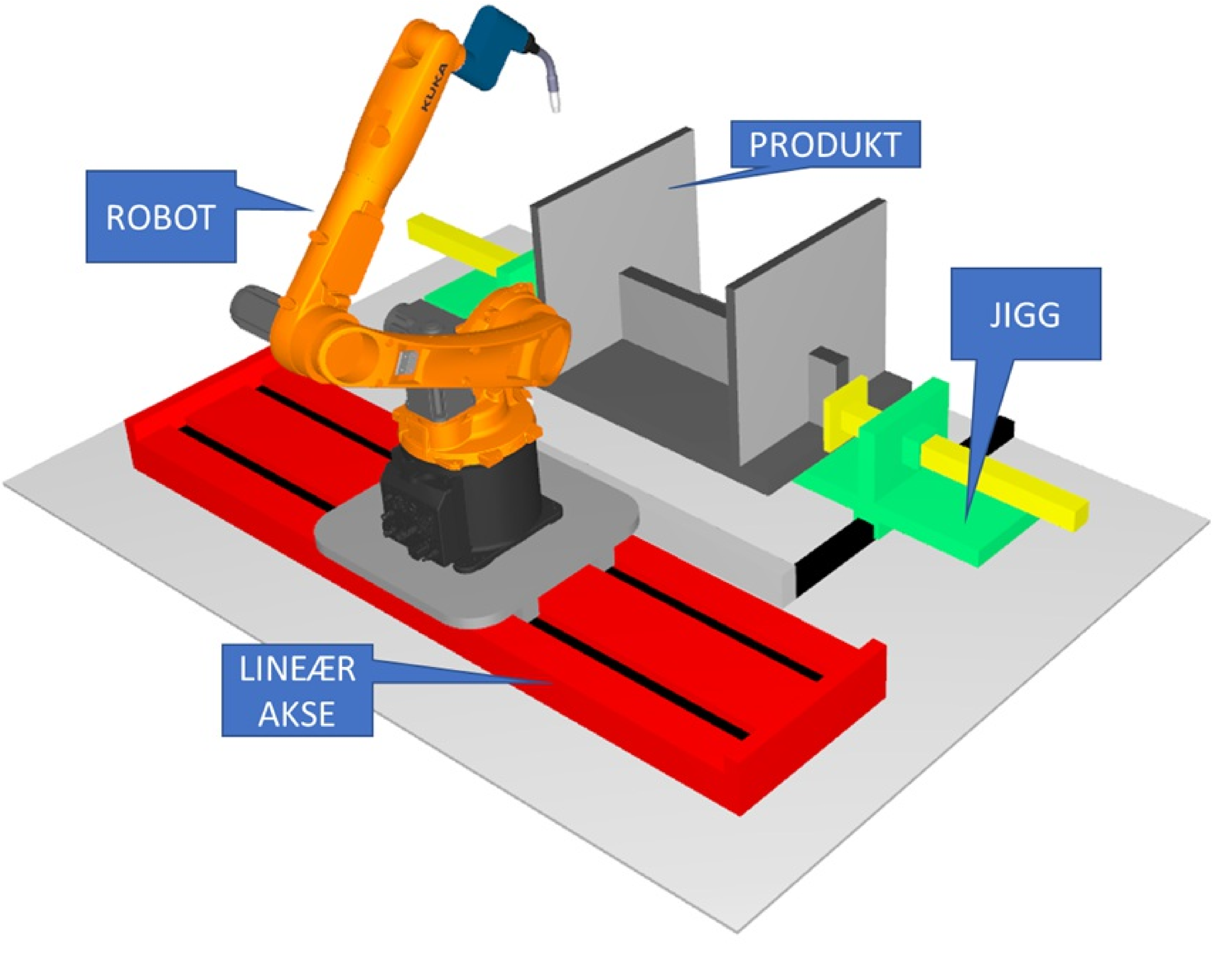
Format

Words: 0

Maks poeng: 3

## 5 Oppgave5

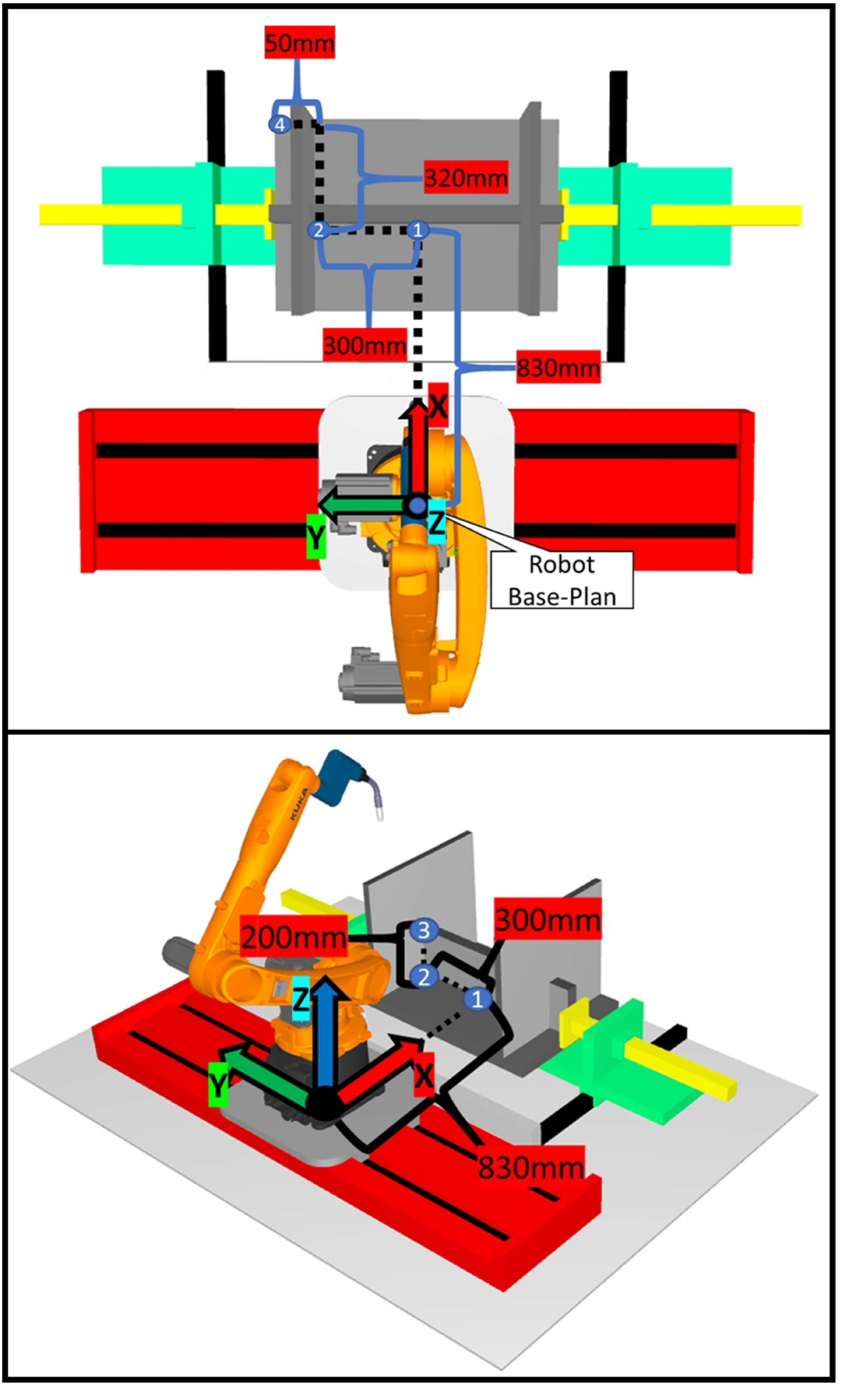
Vi har følgende sveisecelle:



Sveisecellen består av:

- Robot som holder et sveiseapparat.
- Lineær akse som kan skyve på roboten sideveis.
- Jigg som holder fast ulike objekter eller produkter som skal behandles av sveiseapparat.

Figuren under viser arbeidspunktene til roboten inkluderts robotens base-plan, dens orientasjon i rommet og avstandene mellom base-planet og punktene:




Avstandene er oppgitt mellom roboten og punktene på produktet. Avstandene fra roboten går ut ifra origo til dens base-plan, lokalisert i midten helt nederst til roboten. Avstandene er rette og følger en av aksene vinkelrett.

**Base-Planet til Roboten er tegnet inn med aksene navngitt med riktig notasjon X,Y og Z. Bruk den for å løse oppgaven. Bruk høyre-hånds regelen, se figur helst nederst. Punktene er plassert der hvor dem skal være, men rotasjonen er ukjent.**

Punkt 1, 2 og 4 ligger på samme høyde langs Z-aksen til base-planet på roboten. Punkt 3 ligger på samme sted som punkt 2, bare forflyttet 200mm i høyden.

Anta følgende:

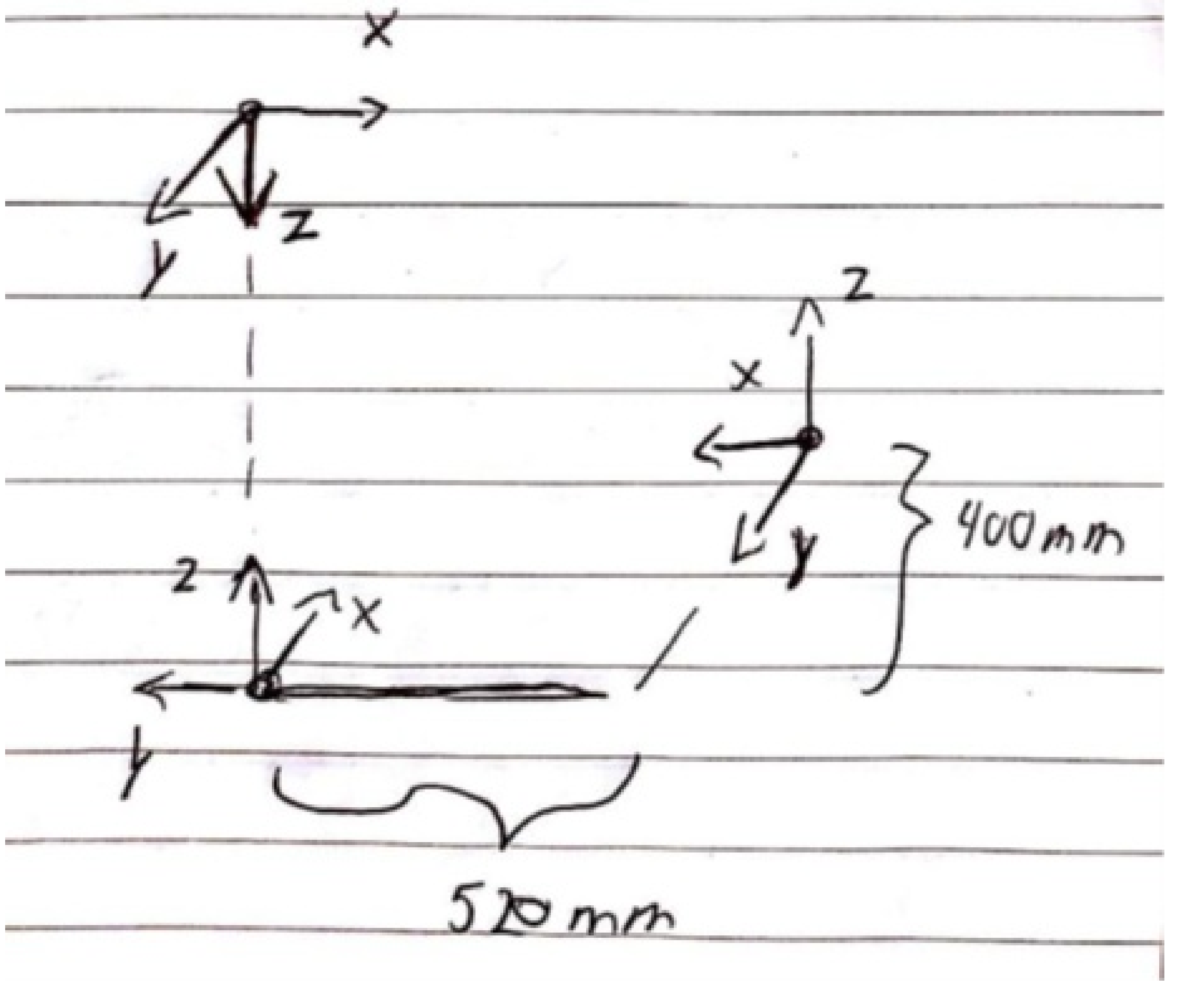
1. Punkt1-Planet etter translasjon er i henhold til Robot Base-Planet snudd 180 grader rundt x aksen, deretter 180 grader rundt **gjeldende** z aksen.
2. Punkt2-Planet etter translasjon er i henhold til Robot Base-Planet snudd 180 grader rundt z-aksen, deretter -90 grader rundt x aksen til **Robot Base**-planet.
3. Punkt3-Planet etter translasjon er i henhold til Punkt2-planet likt rotert.
4. Punkt4-Planet etter translasjon er i henhold til Punkt2-planet snudd 90 grader rundt x-aksen.
5. Bruk følgende notasjon i formlene: Fra Robot til Punkt1 er $H_{Pun1}^{Rob}$, hvor Rob=Robot og Pun1 = Punkt1.

**Merk: Hele eller deler av denne oppgaven kan gjøres på papir og leveres inn til sensor i rommet, dersom det blir vanskelig å løse enkelte ting i Inspera.**

Utfør dette:

a. Fra figur 1, tegn opp alle planene med deres x, y og z akser, Robot, Punkt1, Punkt2, Punkt3 og Punkt4. Merk aksene med riktig notasjon, eksempel x, y eller z. Ikke tegn objektene, kun aksene. Avstandene må ikke være nøyaktig, det er rotasjonen som er viktigst. Tegn isometrisk, rett ovenfra, eller hvordan du tror er best.

   Eksempel på tegning:




b. Skriv opp de homogene transformasjonsmatrisene $H_{Pun1}^{Rob}, H_{Pun2}^{Rob}, H_{Pun2}^{Pun1}, H_{Pun4}^{Pun3}$
   Gjør dette uten matrisemultiplikasjon. Legg spesielt merke til hvilket plan vi referer fra i de homogene matrisene (Superscript). Bruk figuren du har tegnet under deloppgave a) som hjelp.

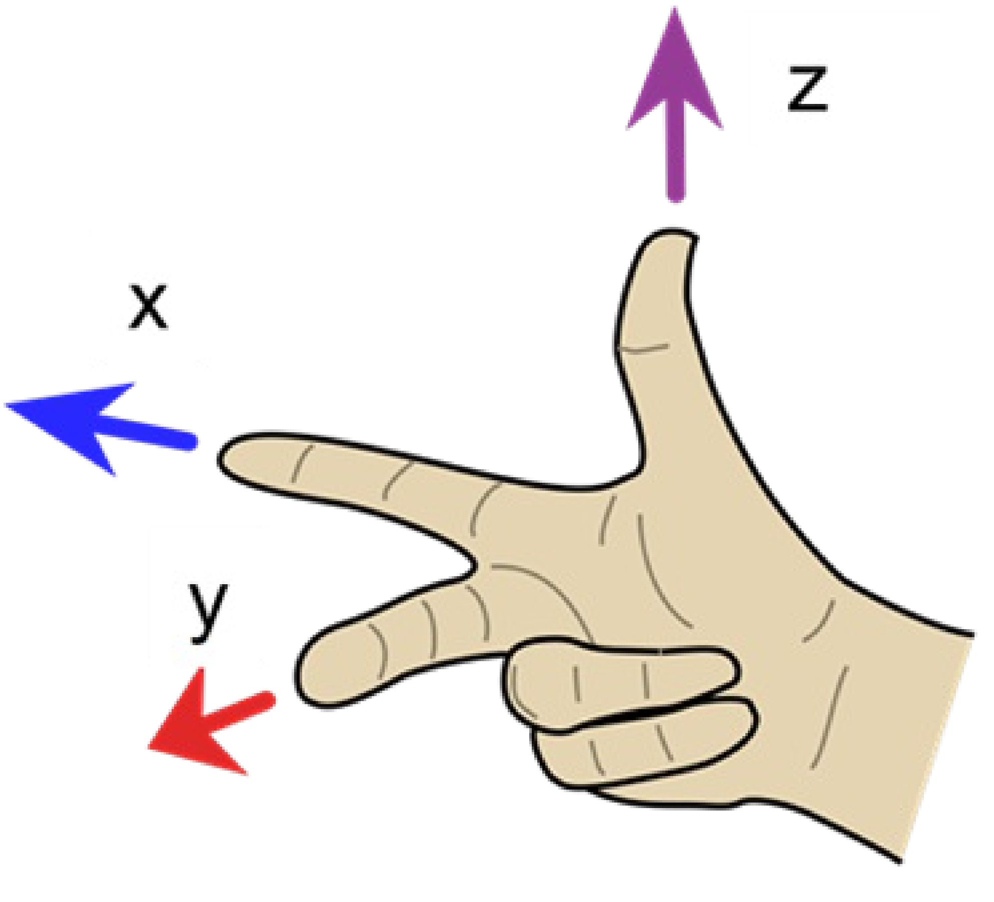
c. Den lineære aksen har forflyttet roboten 700mm i positiv y-retning langs dens eget-baseplan, slik at roboten kan nå Punkt4 lettere. Baseplanet følger med roboten.

   Hva er $H_{Pun4}^{Rob}$ før roboten flytter seg, og hva blir den etter at roboten flytter seg? Finn dette uten matrisemultiplikasjon. Bruk din tegning fra deloppgave a).

**Skriv ditt svar her**

Format B I U $x_2$ $x^2$ $I_x$ Ω Σ

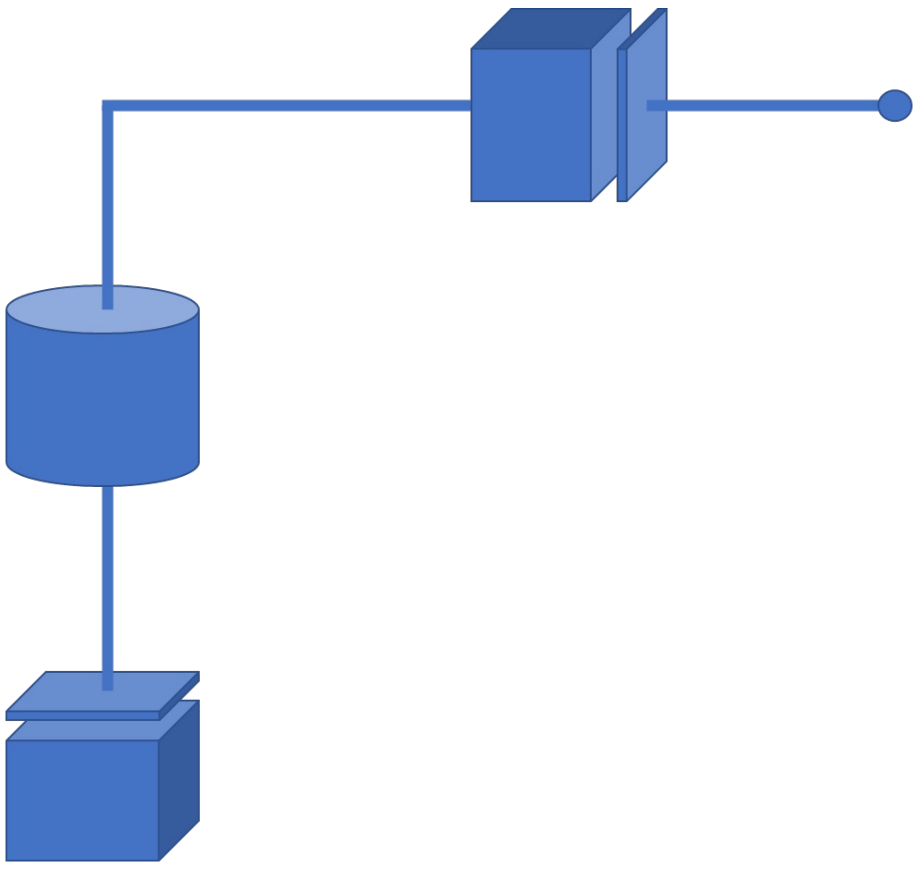
Words: 0




Maks poeng: 12

# 6 Oppgave6

Du er gitt følgende robot-oppsett:



Figuren viser oppsett på en lab-robot som er utviklet for et spesifikt område.

1. Hvor mange frihetsgrader (DOF) har roboten over?
2. Hva slags type ledd består roboten av?
3. Gi et eksempel på hvordan arbeidsområdet til roboten kan se ut. Beskriv og tegn. Merk områder som ikke kan nås.

**Merk: Hele eller deler av denne oppgaven kan gjøres på papir og leveres inn til sensor i rommet, dersom det blir vanskelig å løse enkelte ting i Inspera.**

**Skriv ditt svar her**

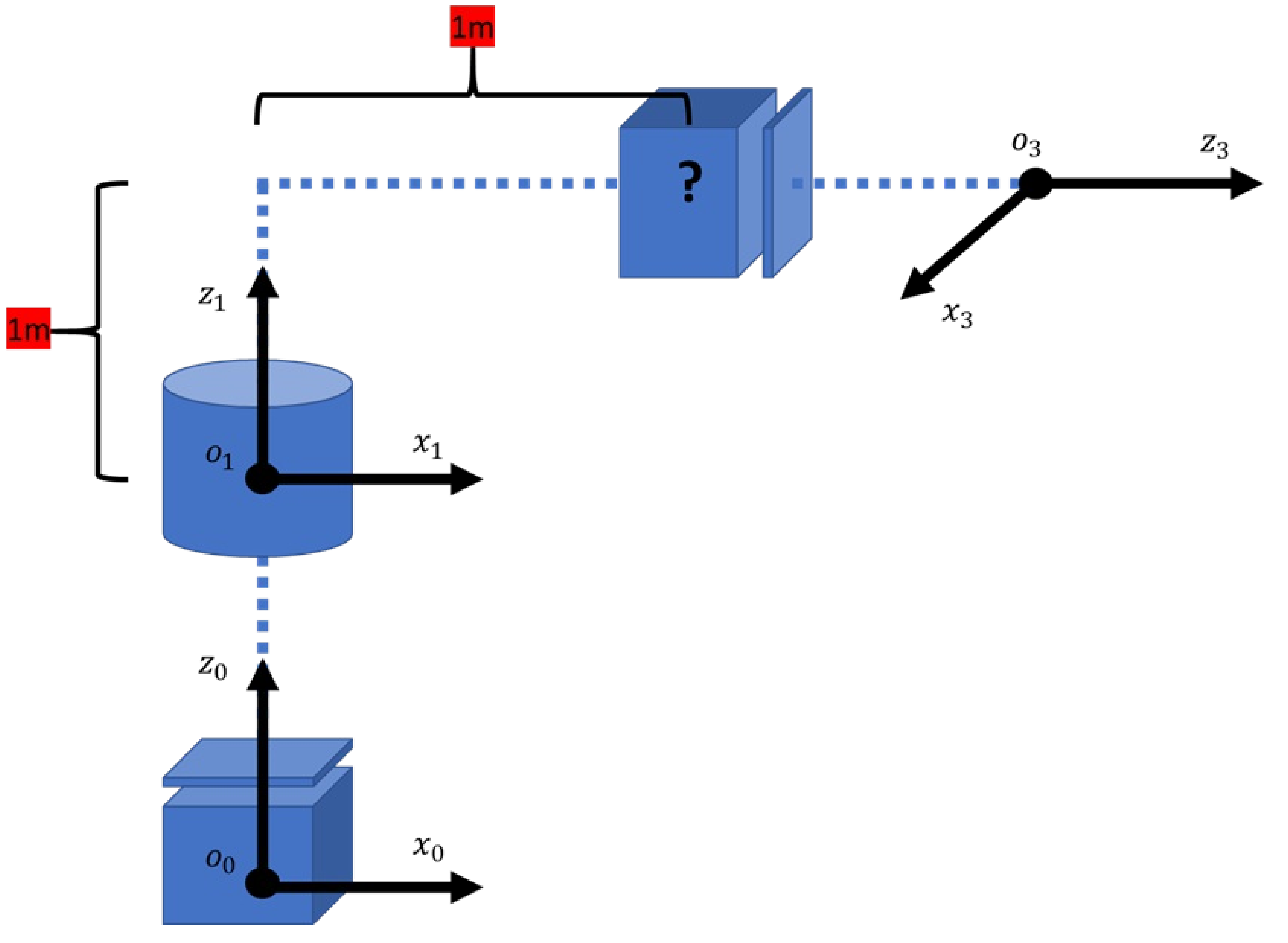
Format

Words: 0

Maks poeng: 5

# 7 Oppgave7

Roboten fra forrige oppgave er tegnet inn på nytt:




1. Plan2 mangler. Tegn figuren med eksisterende plan på nytt, men ta med Plan2 i henhold til klassisk DH konvensjon. Se helt nederst under oppgaven for DH regler.
2. Skriv opp den klassiske Denavit-Hartenberg tabellen for den nye figuren. Sett stjerne over de parameterne som er variabel. Eksempel $\theta_2^*$. For roterende ledd, angi hvilken posisjon leddet er rotert i parentes, i tillegg til variabelen med stjerne.

**Merk: Hele eller deler av denne oppgaven kan gjøres på papir og leveres inn til sensor i rommet, dersom det blir vanskelig å løse enkelte ting i Inspera.**

**Skriv ditt svar her**

Format

Words: 0

Regler for klassisk DH-Konvensjon:

- $a_i$, K**oblings-Lengden (Link-Lenght)** for kobling $i$. Avstanden fra $z_{i-1}$ til $z_i$ målt langs $x_i$.
- $\alpha_i$ er **Koblings-Vridningen (Link-Twist)** for kobling $i$. Vinkelen mellom $z_{i-1}$ til $z_i$, målt rundt $x_i$.
- $d_i$ er **Koblings-Forskyvningen (Link-Offset)** for kobling $i$ ←for prismatiske ledd. Avstanden mellom $o_{i-1}$ til punktet der $x_i$ aksen krysser $z_{i-1}$, målt langs $z_{i-1}$.
- $\theta_i$ er **Ledd-Vinkel (Joint-Angle)** for kolbing i. Er variabel for roterende ledd. Korteste vinkelen mellom $x_{i-1}$ til $x_i$ målt rundt $z_{i-1}$.

Tilfelle1:

$z_i$ og $z_{i-1}$ danner ikke samme plan. Det finnes bare en $x_i$, og det er den korteste veien mellom $z_i$ og $z_{i-1}$. $x_i$ må krysse og stå normalt på $z_{i-1}$.

Tilfelle2:

$z_i$ og $z_{i-1}$ er paralelle med hverandre. $x_i$ og $o_i$ kan bli dannet hvor som helst mellom $z_i$ og $z_{i-1}$

Tilfelle3:

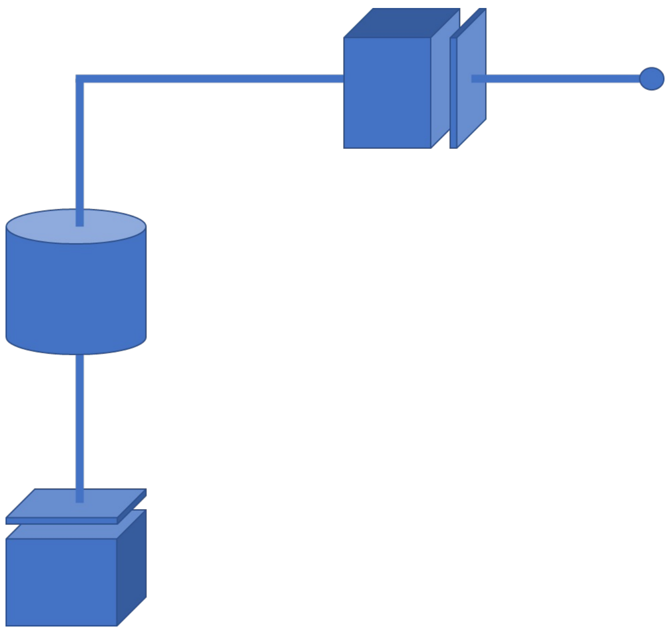
$z_i$ og $z_{i-1}$ krysser hverandre. $x_i$ kan bli dannes på $z_i$, men må krysse og stå normalt på $z_{i-1}$.

---

Maks poeng: 10

# 8 Oppgave8

Roboten fra forrige oppgaver er tegnet inn på nytt:



Anta følgende:

1. Ledd 1 går fra 0 til 1000mm.
2. Ledd 2 går fra -360 til 360 grader.
3. Ledd 3 går fra 0 til 1000mm.

Svar på følgende spørsmål:

a. Ved å kun se på figuren og ledd begrensningene over, hvor mange høyst konfigurasjoner kan roboten innta fra Invers-Kinematikk?
b. Hvis flere konfigurasjoner, hvilket eller hvilke ledd er årsaken til dette?
c. Anta at roboten får tilført et ekstra roterende ledd ved enden. Dette leddet kan rotere fra -360 til 360 grader. Hvor mange frihetsgrader har roboten nå, og hvor mange høyst konfigurasjoner kan roboten innta med invers kinematikk?

**Skriv ditt svar her**

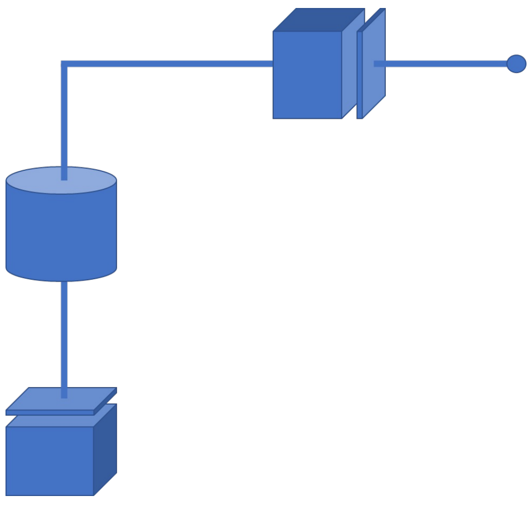
Format

Words: 0

Maks poeng: 6

# 9 Oppgave9

Roboten fra de forrige oppgavene er tegnet inn enda en gang:



Bruk figuren og din egen figur fra oppgave 7.
**Løs den geometriske inverse kinematikken for roboten**.

Du har følgende ledd begrensninger:

1. Ledd 1 går fra 0 til 1000mm.
2. Ledd 2 går fra -360 til 360 grader.
3. Ledd 3 går fra 0 til 1000mm.

Bruk de kartetiske koordinatene $x_c, y_c, z_c$ til å finne settet som beskriver hvert ledd:

$$d_1, \theta_2, d_3$$

Brukt Atan2(x,y) for rotasjonsdelen.
**Ignorer om en av leddene ikke er på riktig nullpunkt. Annta at offset er applisert og øverste del av armen peker langs x-aksen til basen.**

**Merk: Hele eller deler av denne oppgaven kan gjøres på papir og leveres inn til sensor i rommet, dersom det blir vanskelig å løse enkelte ting i Inspera.**

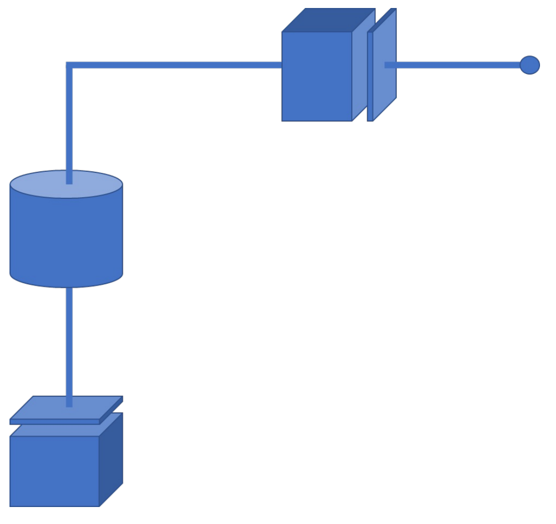
**Skriv ditt svar her**

Words: 0

Maks poeng: 10

# 10 Oppgave10

Oppgaven består av 2 deler. Vi fortsetter med roboten fra tidligere oppgaver:



**Merk: Hele eller deler av denne oppgaven kan gjøres på papir og leveres inn til sensor i rommet, dersom det blir vanskelig å løse enkelte ting i Inspera.**

1. Bruk jacobian reglene fra appendikset og T matrisene under til å sette opp den fullstendige jacobian matrisen til roboten fra tidligere oppgaver.

   T matrisene for roboten er gitt ved:

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$T_2^0 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & -s_1 & 0 \\ s_1 & 0 & c_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_1+1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$$T_3^0 = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & -s_1 & -s_1(d_3+1) \\ s_1 & 0 & c_1 & c_1(d_3+1) \\ 0 & -1 & 0 & d_1+1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

   Se helt nederst i oppgaven for regler til Jacobian og andre matematiske regler.

2. Bruk lineære komponenten til Jacobian matrisen til å finne hvilke konfigurasjoner som er singulære. Enten:
   a. Hvorfor og hvordan roboten kan havne i denne singulære konfigurasjonen.
   b. Hvorfor roboten ikke har en singulær konfigurasjon.

**Skriv ditt svar her**

Format

Words: 0

Jacobian matrisen er definert som:

$$J = \left[\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdots \frac{\partial f}{\partial x_n}\right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \cdots & \frac{\partial f_m}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

Regler for Jacobian matrise for roboter i 3 dimensjoner.

Forholdet mellom en robots kartesiske fart med ledd-hastighet er:

$$\xi = J_n \dot{q}_n \leftrightarrow \begin{bmatrix} v_n^0 \\ \omega_n^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{v_1} \dots J_{v_n} \\ J_{\omega_1} \dots J_{\omega_n} \end{bmatrix} \dot{q}_n$$

Den lineære hastigheten for hver kolonne av $J_v = [J_{v_1} \dots J_{v_n}]$, er definert som:

$$J_{v_i} = \begin{cases} z_{i-1} \times (o_n - o_{i-1}), & for\ roterende \\ z_{i-1}, & for\ prismatiske \end{cases}$$

Den roterende hastigheten for hver kolonne av $J_\omega = [J_{\omega_1} \dots J_{\omega_n}]$ er definert som:

$$J_{\omega_i} = \begin{cases} z_{i-1}\ for\ roterende\ ledd \\ 0\ for\ prismatiske\ ledd \end{cases}$$

**Kryss-produktet mellom 2 vektorer er definert som:**

$$\vec{a} \times \vec{b} = \begin{bmatrix} a_y b_z - a_z b_y \\ a_z b_x - a_x b_z \\ a_x b_y - a_y b_x \end{bmatrix}$$

Determinanten til en 3x3 matrise:

$$A = \begin{bmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{bmatrix}$$

$$detA = a(ei - fh) - b(di - fg) + c(dh - eg)$$

Derivering av trigonometriske utrykk:

$$\sin(x)' = \cos(x)$$

$$\cos(x)' = -\sin\,(x)$$

---

Maks poeng: 10