

# Løsningsforslag: Obligatorisk innlevering nr. 3 i MAS144

## Oppgave 1

### a) Egendiffusjon og interdiffusjon

- **Egendiffusjon:** Skjer i rene metaller der alle atomene er av samme type. Atomer bytter plass i krystallgitteret, men den kjemiske sammensetningen forblir uendret.
- **Interdiffusjon:** Skjer i legeringer (blanding av ulike metaller). Atomer beveger seg fra områder med høy konsentrasjon til områder med lav konsentrasjon, noe som fører til en netto transport av materiale og endring i kjemisk sammensetning over tid.

### b) Mellomromsdiffusjon vs. vakansediffusjon

- **Vakansediffusjon:** Et atom flytter seg fra sin faste plass til en ledig plass (vakanse) i nabolaget. Dette krever at det finnes ledige vakanser i gitteret og at atomet har nok energi til å bryte bindinger.
- **Mellomromsdiffusjon (interstittiel):** Små atomer (som hydrogen, karbon, nitrogen) beveger seg mellom de ordinære gitterposisjonene i krystallstrukturen. De "snoer" seg gjennom hulrommene i gitteret.

### c) Hvorfor mellomromsdiffusjon er hurtigere

1. Mellomromsatomene er betydelig mindre enn vertatomsene og har derfor lettere for å bevege seg gjennom strukturen.
2. Det er langt flere ledige mellomromsplasser enn det er ledige vakanser i et krystallgitter, noe som gir atomene flere muligheter til å flytte på seg.

### d) Betingelser for stasjonære betingelser (Steady-state)

For at diffusjon skal være stasjonær, må diffusjonsfluksen ( $J$ ) være uavhengig av tid. Det betyr at konsentrationsprofilen er lineær og ikke endrer seg over tid ( $dc/dt = 0$ ). Mengden stoff som går inn på den ene siden av platen må være nøyaktig lik mengden som kommer ut på den andre siden.

### e) Drivkraften ved stasjonær diffusjon

Drivkraften bak stasjonær diffusjon er **konsentrasjonsgradienten** ( $\frac{dc}{dx}$ ). Det er forskjellen i konsentrasjon over en gitt distanse som tvinger atomene til å bevege seg.

## Oppgave 2: Diffusjon av Hydrogen gjennom Palladium

---

Vi bruker Ficks første lov for stasjonær diffusjon:  $J = D(C_1 - C_2)\Delta x$

**Gitt verdier:**

- Tykkelse ( $\Delta x$ ):  $5\text{mm} = 0,005\text{m}$
- Areal ( $A$ ):  $0,25\text{m}^2$
- Temperatur:  $500^\circ\text{C}$
- Konsentrasjon side 1 ( $C_1$ ):  $2,4\text{kg/m}^3$
- Konsentrasjon side 2 ( $C_2$ ):  $0,6\text{kg/m}^3$
- Diffusjonskoeffisient ( $D$ ):  $1,0 \times 10^{-8}\text{m}^2/\text{s}$

**Beregning av fluks ( $J$ ):**

$$J = (1,0 \times 10^{-8}\text{m}^2/\text{s}) \cdot (2,4 - 0,6\text{kg/m}^3) \cdot 0,005\text{m} = 3,6 \times 10^{-8}\text{kg/(m}^2\text{·s)}$$

**Beregning av masse per time ( $M$ ):** Vi har 3600 sekunder i en time.  $Masse = J \cdot A \cdot tid$

$$Masse = (3,6 \times 10^{-8}\text{kg/(m}^2\text{·s)}) \cdot (0,25\text{m}^2) \cdot (3600\text{s}) = 0,00324\text{kg/h}$$

## Oppgave 3: Karbonisering i jern (FCC)

---

Her bruker vi sammenhengen  $D \cdot t = konstant$ . For karbon i  $\gamma$ -Fe (FCC) er standardverdier  $Q_d = 148\text{kJ/mol}$  og  $D_0 = 2,3 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ .

**Gitt:**

- $t_1 = 15\text{h}$  ved  $T_1 = 900^\circ\text{C}(1173K)$
- $t_2 = 2\text{h}$  ved  $T_2 = ?$

Siden  $D_1t_1 = D_2t_2$ , får vi:  $e^{-Q_dRT_1 \cdot t_1} = e^{-Q_dRT_2 \cdot t_2} \ln(t_1/t_2) = Q_dR(1/T_2 - 1/T_1)$

Setter inn verdier ( $R = 8,314\text{J/mol·K}$ ):  $\ln(152) = 1480008,314(1/T_2 - 1/1173)$   
 $2,015 = 17795,3 \cdot (1/T_2 - 0,0008525)$   $1/T_2 = 0,0001132 + 0,0008525 = 0,0009657$   
 $T_2 = 1035,5\text{K} = 762,5^\circ\text{C}$

## Oppgave 4: Cu-Ni legering

---

Her er  $Cx$  og overflatekonsentrasjon de samme, så argumentet  $x2Dt$  må være konstant. Gitt  $t1 = t2 = 700h$ , forenkles dette til:  $x12D1 = x22D2$

Gitt:

- $x1 = 3mm$  ved  $T1 = 1100 \circ C(1373K)$
- $x2 = 2mm$  ved  $T2 = ?$
- For Cu i Ni:  $D0 = 2,7 \times 10 - 4m^2 / s$  og  $Qd = 256kJ / mol$

$$\begin{aligned} x12D0e - QdRT1 &= x22D0e - QdRT2 \\ (x1x2)2 &= e - QdRT1e - QdRT2 = eQdR(1T2 - 1T1) \\ \ln(32)2 &= 2560008,314(1T2 - 11373) \\ 0,8109 &= 30791,4 \cdot (1T2 - 0,0007283) \\ 1T2 &= 0,00002634 + 0,0007283 = 0,00075464 \\ T2 &= 1325,1K = 1052,1 \circ C \end{aligned}$$

## Oppgave 5: Nitrogenherding av stålaksling

---

Gitte data:

- $C0 = 0,002wt$
- $Cs = 0,50wt$
- $Cx = 0,10wt$
- $x = 0,45mm = 4,5 \times 10 - 4m$
- $D0 = 3 \times 10 - 7m^2 / s$
- $Qd = 76150J / mol$

Beregning av feilfunksjon:  $Cx - C0Cs - C0 = 1 - erf(z)$

$0,10 - 0,0020,50 - 0,002 = 0,1968$   $erf(z) = 1 - 0,1968 = 0,8032$  Fra tabell for feilfunksjoner finner vi  $z$  når  $erf(z) = 0,8032$ :  $z \approx 0,91$

Ligning for tid  $t$  som funksjon av  $T$ :  $z = x2Dt \Rightarrow t = x24 \cdot z2 \cdot D$  Siden  $D = D0e - QdRT$ :

$$t(T) = (4,5 \times 10 - 4)24 \cdot (0,91)^2 \cdot 3 \times 10 - 7 \cdot e - 761508,314 \cdot T$$

$$t(T) = 0,2042e - 9159,25T$$

Tabell over varmebehandlingstider:

Temperatur ( $^{\circ}C$ )	Temperatur (K)	Tid (s)	Tid (timer)
475 $^{\circ}C$	748K	42078	11,7h
525 $^{\circ}C$	798K	19901	5,5h
575 $^{\circ}C$	848K	10237	2,8h
625 $^{\circ}C$	898K	5653	1,6h

En passende behandlingstid vil være ca. **5,5 timer ved 525°C.**