

### Przykład 3.7A

Równowagowa reakcja azotu i wodoru z wytworzeniem amoniaku będzie zgodna z równaniem:



Zmiana entalpii standardowej,  $\Delta_r H^\ominus$ , wynosi  $-92,2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Określ wartość stałej równowagi w temperaturze  $67^\circ\text{C}$ .

### Rozwiązanie

Stosując poniższe wyrażenie zakładamy, że zmiana standardowej entalpii reakcji jest stała w danym zakresie temperatur i po wstawieniu wielkości danych w zadaniu otrzymujemy:

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-\Delta_r H^\ominus}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{-(-92,2 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1})}{8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}} \left( \frac{1}{340 \text{ K}} - \frac{1}{298 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -4,60$$

$\ln K_2/K_1$  oznacza logarytm naturalny z ułamka  $K_2/K_1$  i by określić  $K_2$  najpierw obliczamy antylogarytm:

$$\frac{K_2}{K_1} = e^{-4,60} = 0,010$$

A następnie przekształcamy wyrażenie tak, by znaleźć  $K_2$ :

$$K_2 = (0,010 \cdot 6,10 \cdot 10^5) = 6,1 \cdot 10^3$$

$$K_2 = 6,1 \cdot 10^3$$

➔ Pamiętajmy o przeliczeniu stopni Celsjusza na kelwiny, oraz że jednostkami  $\Delta_r H^\ominus$  powinny być  $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$ , wówczas jednostki się skracają.

➔ Jeżeli  $\ln K_2/K_1 = -x$ , to  $K_2/K_1 = e^{-x}$

➔ Czy odpowiedź jest prawidłowa? Tak: zmiana entalpii standardowej ma wartość ujemną, więc reakcja jest egzoergiczną i spodziewamy się zmniejszenia stałej równowagi ze wzrostem temperatury.

### ? Zadanie 3.5

- a) W temperaturze  $25^\circ\text{C}$  reakcja równowagowa między azotem i wodorem prowadząca do wytworzenia amoniaku przedstawia się następująco:



Zmiana entalpii standardowej,  $\Delta_r H^\ominus$ , wynosi  $-92,2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Określ wartość stałej równowagi w temp.  $350^\circ\text{C}$ .

- b) W temperaturze  $25^\circ\text{C}$  reakcja równowagowa między ditlenkiem siarki i tlenem prowadząca do wytworzenia tritlenku siarki przedstawia się następująco:



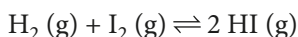
Zmiana entalpii standardowej,  $\Delta_r H^\ominus$ , wynosi  $-198 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ . Określ wartość stałej równowagi w temp.  $700^\circ\text{C}$ .

### 3.8 Obliczanie stałych równowagi i składu mieszaniny równowagowej

Jeśli dla danej reakcji znamy stężenia w stanie równowagi lub ciśnienia cząstkowe odpowiadające temu stanowi, to możliwe jest obliczenie  $K_c$  lub  $K_p$ . Podobnie, wartości  $K_c$  i  $K_p$  można użyć do określenia stężeń lub ciśnień cząstkowych, jakie istnieją w stanie równowagi. Do rozwiązania większości tych problemów niezbędna jest jednak dobra znajomość algebry; przykłady powinny dać pogląd jak prowadzi się takie obliczenia.

#### Przykład 3.8A

Rozważmy reakcję równowagową wodoru i jodu prowadzącą do jodowodoru:



Czysty wodór i czysty jod zostają zmieszane w temperaturze 700 K i pozostawione do osiągnięcia równowagi. Stężenia równowagowe wodoru i jodu oznaczono jako równe i wynoszące  $4,9 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ; jeśli przyjąć wartość  $K_c$  jako równą 54, to jakie jest stężenie równowagowe jodowodoru?

#### Rozwiązanie

Zacznijmy do napisania wyrażenia na  $K_c$ :

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

Następnie, korzystając z danych zadania, wstawiamy znane wartości:

$$K_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{[\text{HI}]^2}{(4,9 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}) \cdot (4,9 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3})} = 54$$

Przekształcamy równanie tak, by było wyrażeniem na  $[\text{HI}]^2$ :

$$[\text{HI}]^2 = 54 \cdot (4,9 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}) \cdot (4,9 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3})$$

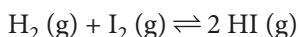
I obliczamy pierwiastek kwadratowy obu stron równania, otrzymując wartość  $[\text{HI}]$ :

$$[\text{HI}] = \sqrt{54 \cdot (4,9 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}) \cdot (4,9 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3})} = 36 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

Stężenie równowagowe jodowodoru wynosi  $36 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ .

#### Przykład 3.8B

Rozważmy równowagową reakcję między wodorem i jodem prowadzącą do jodowodoru:



Jaki jest skład mieszaniny równowagowej, jeśli w naczyniu o pojemności  $2,00 \text{ dm}^3$  przereagowało  $4,00$  moli wodoru i  $4,00$  moli jodu, a  $K_c$  wynosi  $54,0$ ?

#### Rozwiązanie

By rozwiązać to zadanie, należy określić wartości  $[\text{HI}]$ ,  $[\text{H}_2]$  i  $[\text{I}_2]$ , jakie istnieją w stanie równowagi. W przykładzie mamy jednak jedynie informację o początkowej liczbie

➔ Zadbaj, by stężenia produktów były w liczniku, a substratów w mianowniku. Szczególnie zwróć uwagę na stechiometrię reakcji i użyj właściwych wykładników. Stała równowagi nie ma jednostek, co wynika z stechiometrii reakcji, sprawiającej, że miana stężeń licznika i mianownika skraca się.

➔ Zauważ, że w przykładzie podano wartość stałej równowagi i stężenia równowagowe reagentów.

➔ Sprawdź, czy odpowiedź jest prawidłowa, wstawiając wartości wszystkich stężeń równowagowych do wyrażenia na  $K_c$ , wynik powinien wynosić  $54$ ; jest tak rzeczywiście, co potwierdza, że odpowiedź jest prawidłowa.

➔ Zauważ, że zadanie może podawać wiele kombinacji ilości molowych i objętości, tak jak w tym przypadku, czasem stężenie jest dane wprost.