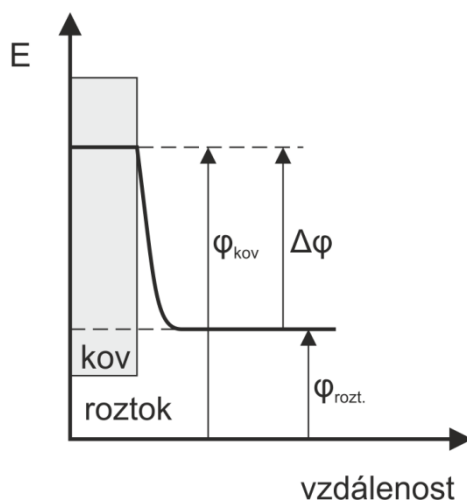


#### 4. a) REVERZIBILNÍ ELEKTRODY

Heterogenní systém vodiče 1. třídy (elektronového) a vodiče 2. třídy (iontového) tvoří tzv. poločlánek, častěji nazývaný elektroda. Pro tento základní elektrochemický systém je charakteristickou veličinou potenciál elektrody, který se ustavuje na základě existence potenciálového rozdílu mezi oběma fázemi (Obr. IV-1). Hodnotu tohoto potenciálového rozdílu - potenciálu elektrody - nelze určit absolutně měřením ani výpočtem. Jediná možnost je měřit rozdíl potenciálů dvou elektrod spojených do galvanického článku - tedy elektromotorické napětí galvanického článku. Jako základní referentní (srovnávací) elektroda pro tato měření byla mezinárodní konvencí zvolena standardní vodíková elektroda, jejíž potenciál byl konvenčně položen rovný nule.



Obr. IV-1: Schematické znázornění fázových potenciálů na rozhraní mezi vodiči 1. a 2. třídy

Základní otázku vlivu složení elektrody na její potenciál vyřešil Nernst, který dal do souvislosti potenciál elektrody s její kvalitou a koncentrací elektroaktivního iontu v roztoku

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{zF} \cdot \ln a_i \quad (\text{IV-1}),$$

kde  $E^{\circ}$  je tzv. standardní potenciál elektrody,  $a_i$  je aktivita elektroaktivní částice v roztoku a  $z$  je počet elektronů předávaných mezi touto částicí a elektrodou. Ostatní symboly mají obvyklý význam. Vztah (IV-1) je speciální případ obecného tvaru rovnice pro potenciál elektrody, kde mimo aktivitu elektroaktivní částice v roztoku vystupuje rovněž aktivita druhé částice redox páru příslušné elektrodové reakce:

$$E = E^{\circ} + \frac{RT}{zF} \cdot \ln \frac{a_{\text{Ox}}}{a_{\text{Red}}} \quad (\text{IV-2}).$$

Nernstovu rovnici lze odvodit z podmínky rovnováhy v heterogenním elektrochemickém systému. Potenciál elektrody definovaný touto rovnicí je tedy rovnovážnou veličinou. Všechny elektrody, jejichž potenciál se řídí Nernstovou rovnicí, proto patří do skupiny reverzibilních elektrod. Tato skupina elektrod se dělí na tři podskupiny podle vzájemného vztahu stýkajících se fází - elektrody 1. druhu, elektrody 2. druhu a redox elektrody.

Každá podskupina má podle svých charakteristických vlastností specifické použití v experimentální chemii, a to buď jako indikační nebo jako referentní elektrody. Indikační elektrody hodnotou svého potenciálu odráží aktivitu příslušné elektroaktivní částice v roztoku (indikují ji). Referentní elektrody slouží naopak jako srovnávací standard pro určení potenciálu indikační elektrody. Jejich potenciál musí být stabilní, nezávislý na složení měřeného roztoku. Jako indikační elektrody se v převážné míře používají elektrody 1. druhu a redox elektrody, jako referentní pak elektrody 2. druhu (toto dělení ovšem nevylučuje i opačné použití).

### **ELEKTRODY 1. DRUHU – STANOVENÍ SOUČINU ROZPUSTNOSTI**

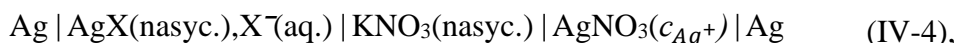
Do skupiny elektrod 1. druhu patří velké množství elektrod, které se navíc velmi výrazně liší způsobem své realizace. Z tohoto důvodu je přesná charakterizace této skupiny jako celku obtížná. Velmi obecně ji lze charakterizovat jako skupinu elektrod, u nichž je elektroaktivní ion odvozen od materiálu elektrody, jímž je prvek ve svém nultém oxidačním stavu.

Z důvodu své rozmanitosti se skupina elektrod 1. druhu dělí dále na dvě podskupiny – kationtové a aniontové elektrody. Z hlediska skupenského stavu prvku, od něž je elektroda odvozena, se podskupina kationtových elektrod dělí dále na elektrody kovové a plynové. Typickým zástupcem kovových elektrod je stříbrná elektroda, plynových kationtových pak vodíková elektroda. Ve skupině kovových elektrod se vyděluje další podskupina elektrod amalgamových (kovový prvek, od něž je odvozen elektroaktivní ion, je přítomen ve formě rtuťového amalgamu - např. sodík). Skupina aniontových elektrod 1. druhu je tvořena výhradně plynovými elektrodami (např. chlorová). Protože potenciál elektrod 1. druhu je jednoznačně určen aktivitou příslušného iontu v roztoku, používají se tyto elektrody prakticky výhradně jako elektrody indikační. Použití těchto elektrod jako referentních je ovšem též možné, což je typické v případě vodíkové elektrody, která je díky mezinárodní konvenci základní referentní elektrodou.

Realizace kovových elektrod 1. druhu je velmi jednoduchá, stačí ponořit příslušný kov Me do roztoku jeho iontů  $Me^{z+}$ . Potenciál těchto elektrod, stejně jako všech reverzibilních elektrod se řídí Nernstovou rovnicí

$$E_{Me^{z+}/Me} = E_{Me^{z+}/Me}^{\circ} + \frac{RT}{zF} \cdot \ln a_{Me^{z+}} \quad (IV-3).$$

Jednou z možných aplikací kovových elektrod je jejich použití ke stanovení součinu rozpustnosti málo rozpustných solí příslušného kovu. Aktivitu (koncentraci) iontů málo rozpustné soli v roztoku lze v tomto případě velmi snadno určit z měření elektromotorického napětí (EMN) koncentračního článku. Jeho poločlánky tvoří příslušná kovová elektroda ponořená do roztoku málo rozpustné soli tohoto kovu a druhá do roztoku o známé koncentraci jeho kationtu. V případě málo rozpustných solí stříbra bude složení příslušného koncentračního článku následující



kde  $c_{Ag^{+}}$  je známá koncentrace roztoku  $AgNO_3$ ,  $KNO_3(nasyc.)$  představuje solný můstek (eliminuje rušící kapalinový potenciál na rozhraní dvou různých roztoků),  $AgX$  je málo rozpustná sloučenina stříbra ( $X$  bývá typicky  $Cl^{-}$ ,  $Br^{-}$ ,  $I^{-}$  či  $SCN^{-}$ ) a  $X^{-}(aq.)$  je nadbytek aniontu málo rozpustné soli.

Součin rozpustnosti málo rozpustné stříbrné soli je dán vztahem

$$K_{S\ AgX} = a_{Ag^{+}} \cdot a_{X^{-}} \quad (IV-5).$$

V případě použití koncentračního článku podle schématu (IV-4) je potenciál elektrod dán výrazy

$$E_P = E_{Ag^{+}/Ag}^{\circ} + \frac{RT}{F} \cdot \ln (c_{Ag^{+}} \cdot \gamma_{Ag^{+}}) \quad (IV-6) \text{ a}$$

$$E_L = E_{Ag^{+}/Ag}^{\circ} + \frac{RT}{F} \cdot \ln \frac{P_{AgX}}{a_X} \quad (IV-7),$$

kde  $\gamma_{Ag^{+}}$  je aktivitní koeficient  $Ag^{+}$  v daném roztoku. Aktivita iontu  $Ag^{+}$  je v levém poločlánku vyjádřena ze součinu rozpustnosti málo rozpustné sloučeniny  $P_{AgX}$ . EMN koncentračního článku (IV-4) je podle konvence určeno rozdílem potenciálu přívodů k pravé a levé elektrodě

$$EMN = E_P - E_L \quad (IV-8).$$

Po dosazení z rovnic (IV-6) a (IV-7) do rovnice (IV-8) a vyjádření aktivity aniontu nerozpustné sloučeniny získáme výraz pro výpočet součinu rozpustnosti málo rozpustné stříbrné sloučeniny (s jednomocným aniontem) z hodnoty EMN koncentračního článku:

$$\ln K_{S AgX} = \ln(c_{Ag^+} \cdot c_{X^-} \cdot \gamma_{Ag^+} \cdot \gamma_{X^-}) - EMN/(RT/F) \quad (IV-9).$$

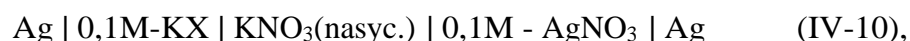
V rovnici (IV-9) vystupují na pravé straně již pouze známé ( $c_{Ag^+}$  a  $c_{X^-}$ ) nebo měřitelné veličiny (EMN). Hodnoty aktivitních koeficientů v rovnici (IV-9) se nahrazují tabelovanými hodnotami středních aktivitních koeficientů, neboť individuální aktivitní koeficienty iontů nejsou měřením ani výpočtem dostupné.

**Úkol: Stanovte součiny rozpustnosti AgX a AgSCN z měření elektromotorického napětí koncentračního článku.**

**Experimentální vybavení:**

- roztok KCl (0,1 mol.dm<sup>-3</sup>)
- roztok KBr (0,1 mol.dm<sup>-3</sup>)
- roztok KI (0,1 mol.dm<sup>-3</sup>)
- roztok KSCN (0,1 mol.dm<sup>-3</sup>)
- roztok AgNO<sub>3</sub> (0,1 mol.dm<sup>-3</sup>)
- nasycený roztok KNO<sub>3</sub>
- mV-metr
- stříbrné elektrody
- solný můstek
- kádinky o objemu 25 cm<sup>3</sup>
- pipetka, plastová injekční stříkačka
- stojan s držáky
- termostat

**Pracovní postup:** Elektrody před měřením ponoříme na 15 minut do roztoku AgNO<sub>3</sub> ( $c = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) a poté důkladně opláchneme destilovanou vodou. Sestavíme článek



kde X = Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, I<sup>-</sup>, SCN<sup>-</sup>. Nyní do roztoku 0,1 M-KX přidáme pipetou několik kapek 0,1 M-AgNO<sub>3</sub> a důkladně zamícháme. Elektrody připojíme k mV-metru a v pravidelných intervalech (2-5 min) měříme EMN sestaveného koncentračního článku. Jako výslednou EMN pak bereme průměr z posledních tří měření, v nichž se zjištěné hodnoty EMN neliší od sebe v průměru o více než 2 mV a nevykazují jednostrannou změnu hodnoty EMN s časem.

## Vyhodnocení:

- Ze zjištěných hodnot EMN příslušných koncentračních článků spočteme podle rovnice (IV-9) hodnoty součinu rozpustnosti jednotlivých málo rozpustných sloučenin stříbra. Pro výpočet ještě potřebujete znát hodnoty středních aktivitních koeficientů jednotlivých roztoků, které je třeba dosadit do rovnice (IV-9)

**Tabulka IV-1:** Střední aktivitní koeficienty roztoků o koncentraci  $0,1 \text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$  při  $25 \text{ }^\circ\text{C}$

KCl	KBr	KI	KSCN	AgNO <sub>3</sub>
0,770	0,777	0,800	0,769	0,734

- Z rovnice (IV-9) vypočteme hodnotu  $\ln K_s$ , kterou odlogaritmuje a pak vyjádříme jako  $pK_s = -\log K_s$  (obdobně jako hodnota pH), který budeme porovnávat s tabelovanou hodnotou.
- Vypočtené hodnoty součinů rozpustnosti porovnáme s hodnotami nalezenými v tabulkách a určíme relativní chybu (v %) námi stanovené hodnoty od hodnoty tabelované.
- Stanovené hodnoty zapíšeme do přehledné tabulky

**Tabulka IV-2:** Hodnoty EMN, stanovené hodnoty součinů rozpustnosti, jejich tabelované hodnoty a relativní chyby

sloučenina	EMN [mV]	K <sub>s</sub>	pK <sub>s</sub> = -log (K <sub>s</sub> )	K <sub>s</sub> (tab.)	pK <sub>s</sub> = -log (K <sub>s</sub> ) (tab.)	relativní chyba [%]
AgCl						
AgBr						
AgI						
AgSCN						

- Do **závěru** protokolu nezapomeňte uvést:
  - co bylo cílem úlohy, co jste stanovovali, jak jste to provedli
  - kde jsou uvedena data (např. v tabulce 1, 2 atd.) a příslušné schéma článku
  - okomentovat přesnost stanovení (jak velké jsou relativní chyby, stačí uvést maximální relativní chybu)
  - pokud se něco nepovedlo, nezapomeňte to uvést a napsat pravděpodobnou příčinu nepřesnosti

#### 4. b) GALVANICKÝ ČLÁNEK

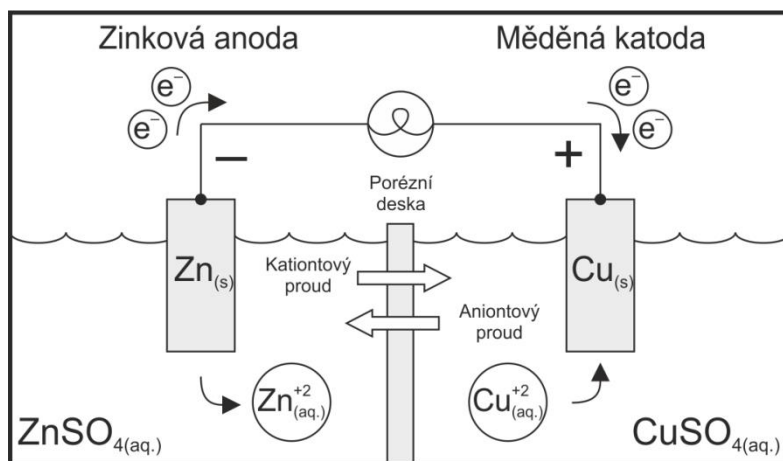
Galvanický článek je heterogenní elektrochemický systém, vzniklý spojením dvou poločlánků. Poločlánek (elektroda) je v nejjednodušším případě tvořen vodičem 1. druhu (kov) ve styku s vodičem 2. druhu (roztok elektrolytu). Směr průběhu jednotlivých reakcí závisí na složení roztoků a na způsobu, jak jsou elektrody ve vnějším obvodu zapojeny.

**a) Galvanický článek za bezproudového stavu:** elektrody jsou spojeny přes voltmetr s vysokým vnitřním odporem. Za těchto podmínek obvodem neprochází elektrický proud ( $I = 0$ ) a elektrody nabývají rovnovážného potenciálu. Tento potenciál je dán Nernstovou rovnicí. Za bezproudového stavu na elektrodách probíhají pouze výměnné reakce, **chemické složení článku se nemění**. V tomto zapojení je elektrochemický článek využíván při potenciometrických stanoveních.

**b) Galvanický článek, jímž teče proud:** Pokud článkem prochází proud, napětí článku závisí na velikosti proudu a rovnovážnou (vyjádřitelnou termodynamicky) veličinou není. Konverzními reakcemi (oxidací a redukcí), k nimž musí docházet na elektrodách, aby článkem mohl téci proud, **se mění chemické složení článku**. V tomto uspořádání nejsou galvanické články analyticky využívány, ale mají význam jako zdroje energie (baterie, akumulátory).

Schematicky se složení galvanického článku zapisuje postupně přes jeho jednotlivé fáze, oddělené od sebe kolmou čarou, vyznačující příslušné fázové rozhraní. Např. pro *Daniellův článek*, tvořený zinkovou elektrodou ponořenou do zředěného roztoku  $Zn^{2+}$  iontů a měděnou elektrodou ponořenou do koncentrovaného roztoku  $Cu^{2+}$  iontů (Obr. IV-4) vypadá schéma následovně

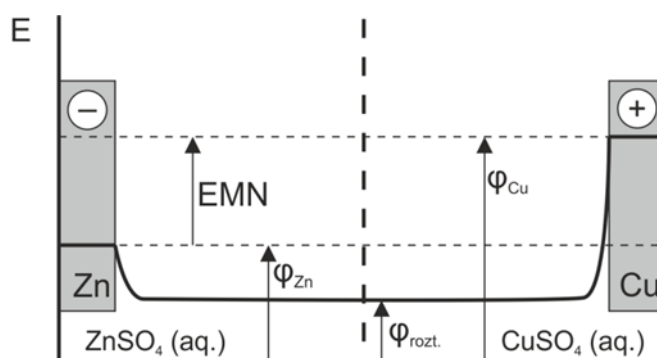




Obr. IV-2: Zjednodušený náčrt Daniellova článku

Vzhledem k rozdílným fázovým potenciálům kovu a roztoku vzniká na elektrodách potenciálový rozdíl (Obr. IV-3) – elektroda se nabíjí na určitý potenciál, jehož absolutní hodnota je vzhledem k fyzikálně chemickým omezením neměřitelná. Měřitelnou veličinou je rozdíl potenciálů elektrod, nazývaný elektromotorické napětí článku (EMN). EMN článku je rovnovážná veličina a proto její správné měření vyžaduje dodržení podmínky rovnováhy v galvanickém článku – zejména bezproudý stav článku během měření. V praxi dosahujeme prakticky bezproudého stavu článku při měření jeho EMN použitím voltmetrů, jejichž vnitřní odpor je řádově  $10^{13} \Omega$  a vyšší (obvykle se tyto voltmetry nazývají pH-metry nebo též ionometry). EMN je dle mezinárodní konvence definováno jako rozdíl potenciálů přivodů k pravé a levé elektrodě:

$$EMN = E_P - E_L \quad (IV-12).$$



Obr. IV-3: Schéma vzniku EMN jako rozdílu fázových potenciálů v galvanickém článku

Ze schématu článku (Obr. IV-2) je zřejmé, že mimo fázových rozhraní kov-roztok se zde bude vyskytovat ještě další rozhraní mezi oběma roztoky (realizované např. fritou, zamezující promíchání roztoků). Na tomto rozhraní vzniká díky rozdílnosti stýkajících se roztoků další potenciálový rozdíl - potenciál kapalinového rozhraní. Hodnota tohoto potenciálu se rovněž započítává do hodnoty EMN, takže dochází k jejímu zkreslení. Chybu způsobenou existencí potenciálu kapalinového rozhraní lze při praktické realizaci snížit na minimum použitím tzv. solného můstku, což je další roztok vsunutý mezi oba poločlánky. Elektrolyt v tomto roztoku musí být co nejvíce koncentrovaný a kation i anion tohoto elektrolytu musí mít pokud možno stejnou pohyblivost (např.  $\text{KNO}_3$ ). Za těchto podmínek se nám v článku objeví dvě kapalinová rozhraní se dvěma potenciálovými rozdíly, které jsou až na znaménko prakticky stejné. V součtu tedy dojde prakticky k jejich eliminaci (až na jednotky mV) a naměřená hodnota EMN pak odpovídá pouze rozdílu potenciálů elektrod. Schéma článku (Obr. IV-4) s kapalinovým můstkem pak bude

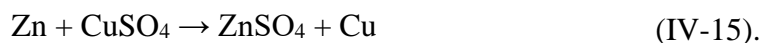


Hodnota EMN článku vyjadřuje schopnost galvanického článku konat elektrickou práci ve vnějším obvodu. Obecně je schopnost konat neobjemovou práci vyjádřena hodnotou změny Gibbsovy energie systému při průběhu příslušného děje (při T, p konst). Protože elektrickou práci lze vyjádřit jako součin přeneseného náboje a rozdílu potenciálů mezi počátečním a konečným bodem přenosu, lze vztah mezi EMN článku a maximální elektrickou prací, kterou je článek schopen vykonat, vyjádřit rovnicí

$$-\Delta G = z \cdot F \cdot E \quad (\text{IV-14}),$$

kde z je počet elektronů, přenášených v článku v důsledku průběhu článkové reakce, F je Faradayova konstanta, E je EMN článku a  $\Delta G$  změna Gibbsovy energie článku spojená s průběhem článkové reakce.

Zápis článkové reakce (elektrochemického děje probíhajícího v článku) se provádí dle mezinárodní konvence tak, aby její průběh odpovídal přenosu kladného náboje ve schématu článku zleva doprava (a záporného náboje – elektronů – ve vnějším obvodu rovněž zleva doprava). Pro již zmíněný Daniellův článek a jeho schéma (Obr. IV-2) resp. (Obr. IV-3) je chemická rovnice pro příslušnou článkovou reakci:





Ze vztahu (IV-14) lze za pomoci termodynamických úvah odvodit závislost EMN článku na teplotě:

$$\left(\frac{dE}{dT}\right)_p = -\frac{1}{zF} \cdot \left(\frac{d\Delta G}{dT}\right)_p = \frac{\Delta S}{zF} \quad (\text{IV-16}).$$

Ze znalosti hodnot  $\Delta G$  a  $\Delta S$  lze určit rovněž hodnotu  $\Delta H$  pro příslušnou článkovou reakci

$$\Delta H = -z \cdot F \cdot E + z \cdot F \cdot T \cdot (dE/dT)_p \quad (\text{IV-17}).$$

Hodnota  $\Delta H$  určuje celkové množství energie, kterou vyměňuje soustava s okolím za konstantního tlaku obvykle ve formě tepla (reakčního tepla). Je to analogie vnitřní energie pro jiné podmínky (teplota a tlak konstantní, místo konstantní teploty a objemu). Porovnáním hodnot  $\Delta H$  a  $\Delta G$  za daných podmínek lze určit, jaká část z celkové vyměněné energie mezi soustavou a okolím byla vyměněna ve formě tepla a ve formě elektrické práce.

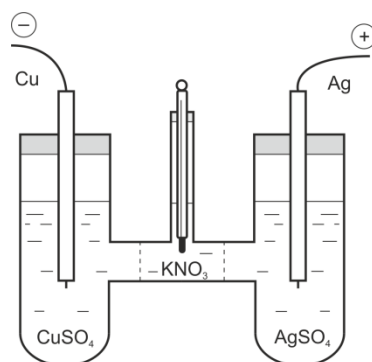
**Úkol: Proměřte závislost elektromotorického napětí článku s měděnou a stříbrnou elektrodou a stanovte změny termodynamických stavových funkcí  $\Delta G$ ,  $\Delta S$  a  $\Delta H$  pro příslušnou článkovou reakci. Zjistěte, jak se s rostoucí teplotou u studovaného systému mění poměr výměny energie ve formě tepla a ve formě elektrické práce. Zapište studovaný článek schematicky a určete příslušnou článkovou reakci.**

**Experimentální vybavení:**

- roztok  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ( $0,0125 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ )
- roztoky  $\text{CuSO}_4$  ( $0,0125 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ )
- nasycený roztok  $\text{KNO}_3$
- mV-metr
- stříbrná a měděná elektroda
- termostat
- teploměr
- elektrolytická nádobka
- plastová injekční stříkačka
- kádinka  $50 \text{ cm}^3$

**Pracovní postup:** Sestavíme galvanický článek se stříbrnou a měděnou elektrodou dle Obr. . Sestavený článek umístíme do termostatu tak, aby byl co nejvíce ponořen. Na termostatu nastavíme počáteční teplotu  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  a necháme minimálně 15 min termostatovat. Poté připojíme článek k mV-metru a změříme hodnotu jeho EMN. Při téže teplotě potom odečítáme hodnotu

EMN v 10 minutových intervalech až do ustálení naměřené hodnoty (odchylka mezi dvěma po sobě jdoucími měřeními nesmí překročit 2 mV a hodnoty nesmí již vykazovat jednostrannou změnu s časem). Po odečtení konečné hodnoty EMN pro teplotu 25°C pokračujeme s měřením při vyšší teplotě. Teplotu zvyšujeme postupně o 5 °C. Minimální nutný počet naměřených hodnot pro teplotní závislost jsou čtyři, lépe však pět hodnot (tzn. až do 60 °C včetně).



**Obr. IV-4:** Náčrt sestavy galvanického článku použitého pro měření teplotní závislosti EMN

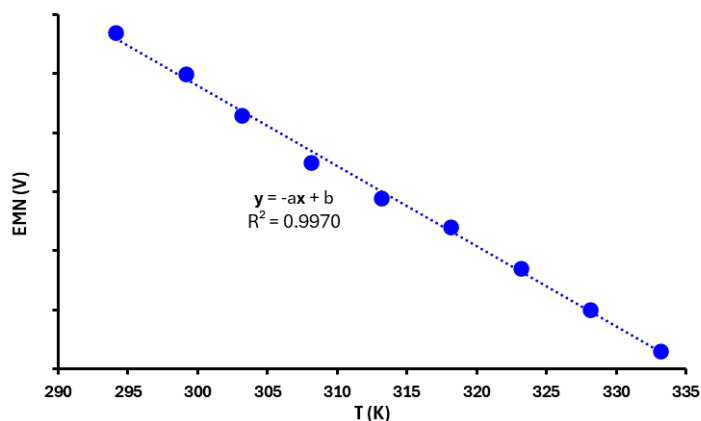
### Vyhodnocení:

- Všechny naměřené i spočítané hodnoty zapíšeme do přehledné tabulky

**Tabulka IV-3:** Teplotní závislost EMN galvanického článku

teplota [°C]	Teplota [K]	EMN [mV]	$\Delta G$ [J]	$\Delta H$ [J]	% energie ve formě elektrické práce	% energie ve formě tepla
25						
30						
35						
40						
45						
50						
55						
60						

- Graficky znázorníme závislost  $EMN = f(T)$



**Graf IV-1:** Teplotní závislost EMN

- $EMN$  (závisle proměnná) → osa y
- $T$  (nezávisle proměnná) → osa x
- velikost grafu alespoň 10 x 10 cm
- body izolované, nespojovat !!!
- lineární závislost → proložíme přímkou, uvést rovnici přímky a koeficient  $R^2$
- rozsah os vhodně zvolíme dle naměřených hodnot, abychom využili celou plochu grafu pro naše naměřené hodnoty

- Hodnotu  $(dE/dT)_p$  získáme jako **směrnici** přímkové závislosti EMN na teplotě (provedeme lineární regresi naměřených hodnot).

$$(dE/dT)_p = -a$$

$-a$  je **směrnice** přímky závislosti  $EMN = f(T)$  (Graf IV-1)

- Z ní na základě vztahu (IV-16 resp. IV-18) určíme výslednou hodnotu  $\Delta S$  příslušné článkové reakce.

$$\left(\frac{dE}{dT}\right)_p = \frac{\Delta S}{zF} \quad (IV-18)$$

$$\Delta S = \left(\frac{dE}{dT}\right)_p \cdot z \cdot F = -a \cdot z \cdot F \quad (IV-18a)$$

$-a$  je směrnice přímky závislosti  $EMN = f(T)$  (Graf IV-1)

- Z jednotlivých hodnot EMN navíc spočteme hodnoty  $\Delta G$  (úpravou rovnice IV-14)

$$\Delta G = -z \cdot F \cdot E \quad (IV-19)$$

- a  $\Delta H$  (dosazením do rovnice IV-17) pro příslušné teploty.

$$\Delta H = -z \cdot F \cdot E + z \cdot F \cdot T \cdot (dE/dT)_p = -z \cdot F \cdot E + z \cdot F \cdot T \cdot -a \quad (IV-20)$$

$-a$  je směrnice přímky závislosti  $EMN = f(T)$  (Graf IV-1)

Z II. věty termodynamiky víme, že  $Q = T \cdot \Delta S$ . Teplo  $Q$  není celkové teplo (v tepelném stroji by přešlo do chladnějšího zásobníku). Teplo  $Q$  nelze využít jako práci. Tak si dosadíme do předchozí rovnice (IV-20) a dostaneme rovnici

$$\Delta H = \Delta G + T \cdot \Delta S = \Delta G + Q \quad (\text{IV-20a})$$

$\Delta H$  celkové množství energie, které soustava vyměňuje s okolím; někdy označení *reakční teplo*

$\Delta G$  změna *Gibbsovy energie*, kterou lze také označit jako *elektrickou práci* pro tento případ

$Q$  teplo, které se může uvolnit do okolí; není využitelné pro konání práce

$$\Delta H = 100 \%$$

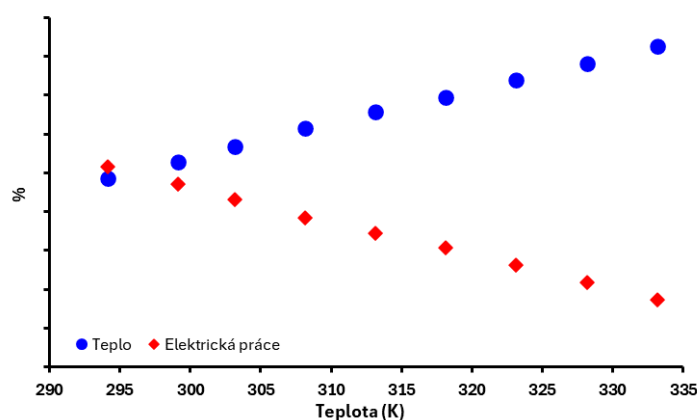
$$\Delta G = x \%$$

$$Q = y \% \quad (\text{IV-20b})$$

$$x + y = 100 \%$$

$$Q = \Delta H - \Delta G$$

- Vypočítáme  $\Delta G$ , tedy elektrickou práci, vyjádříme hodnotu v % z  $\Delta H$  (100%)
- Vypočítáme  $Q$ , teplo, které soustava uvolní do okolí, vyjádříme hodnotu v % z  $\Delta H$  (100%)
- Tyto podíly rovněž vyneseme v grafické podobě proti teplotě měření.



- % (závisle proměnná) → osa y
- $T$  (nezávisle proměnná) → osa x
- velikost grafu alespoň 10 x 10 cm
- body izolované, nespojovat !!!
- rozsah os vhodně zvolíme dle naměřených hodnot, abychom využili celou plochu grafu pro naše naměřené hodnoty

**Graf IV-2:** Závislost % podílu tepla a elektrické práce na teplotě měření

- Do **závěru** protokolu nezapomeňte uvést:
  - co bylo cílem úlohy, co jste stanovovali, jak jste to provedli
  - kde jsou uvedena data (např. v tabulce 1, 2 atd.) a příslušné schéma článku
  - okomentovat, jak se mění energie ve formě tepla a práce s teplotou měření
  - pokud se něco nepovedlo, nezapomeňte to uvést a napsat pravděpodobnou příčinu nepřesnosti