

# Změny pH a vodivosti při titracích

Jak využít změny pH a elektrické vodivosti?

## Obsah

Úvod .....	2	Postup práce .....	12
Cíle .....	2	Nastavení HW a SW .....	12
Teoretický úvod .....	3	Příprava měření .....	12
Praktické provedení .....	5	Kalibrace konduktometru (je-li nezbytná) .....	12
Motivace studentů .....	6	Kalibrace pH elektrody (je-li nezbytná) .....	12
Doporučený postup .....	6	Příprava roztoků a byrety .....	13
Příprava úlohy .....	7	Vlastní měření (záznam dat) .....	13
Materiály pro studenty .....	7	Analýza naměřených dat .....	14
Záznam dat .....	7	Pracovní list učitele .....	15
Analýza dat .....	7	Slovníček pojmů .....	15
Syntéza a závěr .....	7	Teoretická příprava úlohy .....	16
Hodnocení .....	7	Vizualizace naměřených dat .....	17
Internetové odkazy .....	8	Vyhodnocení naměřených dat .....	18
Pracovní návod .....	9	Závěr .....	19
Zadání úlohy .....	9	Pracovní list studenta .....	20
Pomůcky .....	9	Slovníček pojmů .....	20
Bezpečnost práce .....	10	Teoretická příprava úlohy .....	21
Teoretický úvod .....	10	Vizualizace naměřených dat .....	22
Příprava úlohy (praktická příprava) .....	12	Vyhodnocení naměřených dat .....	22
		Závěr .....	23

 **Zařazení do výuky**

Experiment je vhodné zařadit v rámci učiva o vlastnostech látek, v obecné chemii (acido-bazické reakce), v anorganické chemii (sloučeniny  $s^1$ -prvků,  $p^3$ -prvků,  $p^5$ -prvků) eventuelně rozšířené učivo analytické chemie - střední škola (elektrochemické analytické metody).

 **Časová náročnost**

Dvě hodiny (2 × 45 min).

Čas včetně přípravy, úvodní diskuze a vyhodnocení výsledků skupin se závěrečnou diskuzí.

 **Tip**

Úlohu lze rozšířit o srovnání síly organických kyselin (např. kyseliny mravenčí vs. octové). Diskutovat průběh potenciometrických a konduktometrických titračních křivek.

 **Chemikálie**• **Kyselina chlorovodíková HCl**

R 34–37

S 26–36/37/39–45

Souhrn:

Způsobuje poleptání. Dráždí dýchací orgány. Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc. Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít. V případě úrazu nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc.

Nebezpečnost: C

• **Kyselina fosforečná  $H_3PO_4$** 

R 34

S 26–36/37/39–45

Souhrn:

Způsobuje poleptání. Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc. Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít. V případě úrazu nebo necítíte-li

## Úvod

V tomto laboratorním cvičení se studenti seznámí s měřením pH a elektrické vodivosti při acidobazických titracích. K měření bude využíváno čidla na měření pH a měrné vodivosti (conductivity sensor). Studenti experimentálně stanoví potenciometrickou a konduktometrickou titrační křivku kyseliny chlorovodíkové a kyseliny trihydrogenfosforečné. Na základě změřených dat vysvětlí pozorované změny zmíněných fyzikálně – chemických veličin. Ověří koncentraci použité kyseliny chlorovodíkové.

## Cíle

Studenti by měli zvládnout:

- použít odpovídající instrumentální vybavení – čidlo vodivosti PASCO k určení elektrické vodivosti v roztocích a čidlo pH PASCO k určení pH roztoků,
- na základě změřených dat vysvětlit příčiny odlišného průběhu potenciometrické titrační křivky kyseliny chlorovodíkové a trihydrogenfosforečné,
- na základě změřených dat vysvětlit průběh konduktometrických titračních křivek kyseliny chlorovodíkové a trihydrogenfosforečné,
- z naměřených titračních křivek odečíst body ekvivalence – s použitím výpočtu,
- výpočtem ověřit látkovou koncentraci použité kyseliny chlorovodíkové.

## Teoretický úvod

Při titračních stanoveních se k určení bodu ekvivalence, tj. konce titrace může použít indikátor (dochází ke změně barvy nebo vzniku sraženiny). Průběh neutralizačních titrací lze pozorovat sledováním pH nebo měrné vodivosti titrovaného roztoku. Při těchto titracích se mění koncentrace vodíkových iontů  $H^+$  v závislosti na použitém titračním činidle. pH se nejčastěji měří pH – měrnou elektrodou (nejčastěji skleněnou). Podstata měření pH spočívá v měření elektromotorického napětí neznámého vzorku, který se vztahuje k elektromotorickým napětím dvou standardních roztoků o známé hodnotě pH. Při této tzv. potenciometrické titraci se měří závislost pH (napětí) na objemu přidaného titračního činidla. Tato závislost má typický esovitý průběh. Přesná hodnota pH není v tomto případě důležitá, významná je spotřeba činidla, při níž se na titrační křivce projeví výrazná změna pH (napětí) – tzv. titrační (potenciálový) skok. Bod ekvivalence, tedy inflexní bod této křivky, lze nejjednodušší (za předpokladu využití výpočetní techniky) zjistit pomocí první derivace, která se projeví jako maximum na křivce nebo prostřednictvím druhé derivace, která se projeví jako změna znaménka této derivace.

**Vodivost roztoku  $G$**  je převrácenou hodnotou elektrického odporu, je přímo úměrná tzv. měrné vodivosti  $\kappa$  a geometrické ploše elektrod a nepřímo úměrná její vzdálenosti. Pokud měrnou vodivost vztáhneme na jednotkovou molární koncentraci získáme tzv. molární vodivost, která společně s koncentrací přispívají k celkové vodivosti roztoku podle rovnice (1) a (2). Měření měrné vodivosti lze využít k určení bodu ekvivalence.

$$G = 1/R = \kappa \cdot (S/l) \quad (1)$$

kde  $G$  ... vodivost (S – Siemens nebo  $\Omega^{-1}$ )  
 $R$  ... odpor ( $\Omega$  – „omega“, Ohm)  
 $l$  ... vzdálenost elektrod (cm)  
 $S$  ... plošná velikost elektrod ( $cm^2$ )  
 $\kappa$  ... měrná vodivost („kapa“, S/cm)

se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení).

Nebezpečnost: C

• **Hydroxid sodný NaOH**

R 35

S 26–36/37/39–45

Souhrn:

Způsobuje těžké poleptání. Při zasažení očí okamžitě důkladně vypláchněte vodou a vyhledejte lékařskou pomoc. Používejte vhodný ochranný oděv, ochranné rukavice a ochranné brýle nebo obličejový štít. V případě úrazu nebo necítíte-li se dobře, okamžitě vyhledejte lékařskou pomoc (je-li možno, ukažte toto označení).

Nebezpečnost: C

### Tip

Pro základní školu lze derivaci definovat jako podíl rozdílu hodnot pH a rozdílu objemů dvou sousedních bodů.

### Slovníček pojmů

TITRACE

BOD EKVIVALENCE

pH

ELEKTRICKÁ VODIVOST  $G$ MĚRNÁ VODIVOST  $\kappa$ 

NEUTRALIZACE

Viz pracovní list (učitel).

### Přehled pomůcek

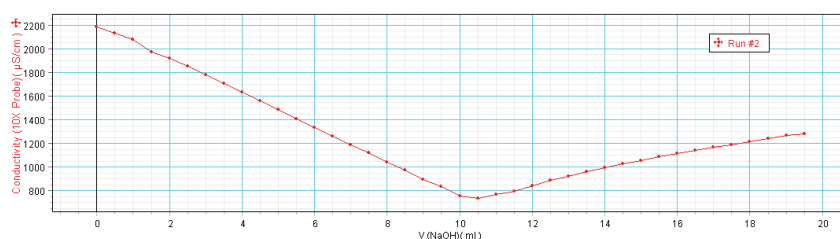
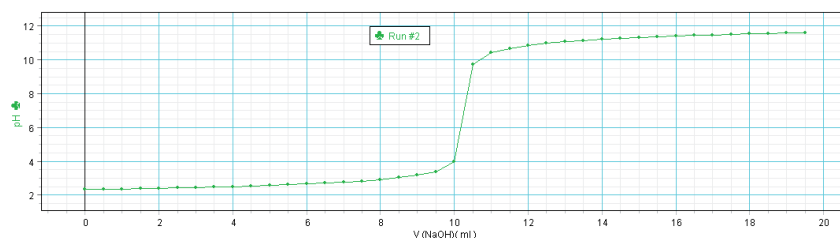
- počítač s USB portem
- PASPORT USB Link (Interface) nebo Xplorer
- PASPORT čidlo elektrické vodivosti
- PASPORT čidlo pH
- software DataStudio
- 0,1 M roztok HCl, 100 ml
- 0,1 M roztok  $H_3PO_4$ , 100 ml
- 0,1 M roztok NaOH, 500 ml
- skleněná tyčinka
- kádinky 150 ml (3 ks)
- pipety s balónkem (2 ks), 10 ml
- byreta na hydroxid sodný
- míchadlo (doporučujeme magnetické)
- popisovač zkumavek (líhový fix)
- stojánek na zkumavky
- destilovaná voda, 500 ml
- buničina
- pracovní návod
- pracovní list
- ochranné pracovní pomůcky

$$\kappa \text{ (rozpuštěná látka)} = c \cdot (\Lambda(\text{kation}) + \Lambda(\text{anion}))/1000 \quad (2)$$

kde  $c$  ... koncentrace (mol/l)

Konduktometrické (vodivostní) titrace jsou založeny na měření změn vodivosti v průběhu titrace. Absolutní hodnota vodivosti není důležitá, ale sledujeme změnu vodivosti resp. její nejnižší hodnotu. Při titraci silné kyseliny silným hydroxidem dochází k poklesu koncentrace iontu  $H^+$  a tím k poklesu vodivosti. Nejmenší vodivosti je dosaženo v bodě ekvivalence, kde nejsou přítomny téměř ionty  $H^+$  a  $OH^-$ . Za bodem ekvivalence dochází ke zvyšování koncentrace iontů  $OH^-$  a tím k opětovnému zvýšení vodivosti. Hodnota vodivosti aniontu kyseliny se nemění, hodnota vodivosti kationtu hydroxidu vzrůstá. Konduktometrické titrace využívají rozdílné (vyšší) hodnoty molárních vodivostí iontu  $H^+$  a  $OH^-$  od ostatních iontů, jak je naznačeno v tabulce.

Kationt	$\Lambda^+ \cdot 10^4$ [S · m <sup>2</sup> · mol <sup>-1</sup> ]	Aniont	$\Lambda^- \cdot 10^4$ [S · m <sup>2</sup> · mol <sup>-1</sup> ]
$H^+$	349,8	$OH^-$	198,0
$Na^+$	50,1	$Cl^-$	76,3




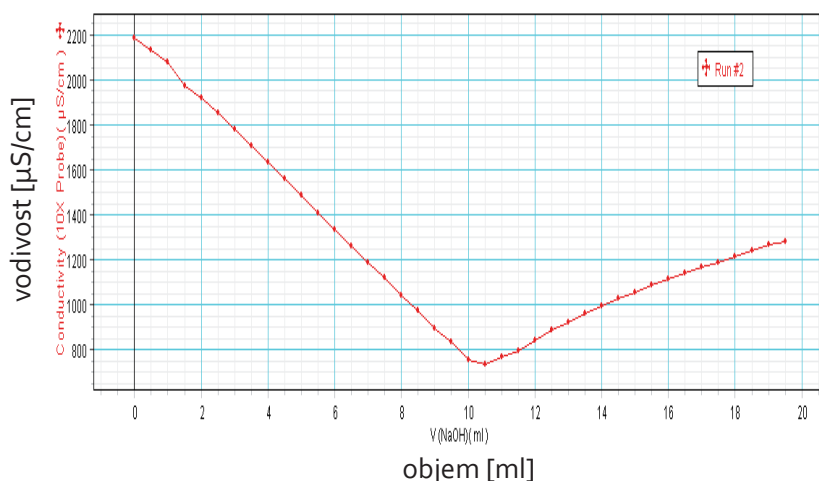
Ukázkový obrázek potenciometrické (nahore) a konduktometrické titrační křivky (dole).

## Praktické provedení

Hodnota pH se po přidavku titračního činidla bude pozvolna zvyšovat, kolem bodu ekvivalence bude pozorován titrační skok, v případě kyseliny trihydrogenfosforečné dva titrační skoky, třetí nebude pozorován, díky vysoké hodnotě  $pK_a$ . V případě konduktometrické indikace se bude měrná vodivost pozvolna snižovat, v bodě ekvivalence dosáhne minima, za bodem ekvivalence se bude vodivost opět zvyšovat. V případě titrace kyseliny trihydrogenfosforečné může být konduktometricky indikována pouze titrace do prvního stupně (nízká molární vodivost objemných dihydrogenfosforečnanových iontů).

Experimentální postup je v takovém případě následující:

1. Experimentátor provede titraci kyseliny chlorovodíkové roztokem hydroxidu sodného, současně bude sledovat hodnoty pH a měrné vodivosti. Poté bude postup opakovat s kyselinou trihydrogenfosforečnou.
2. Body ekvivalence potenciometrických křivek vyhodnotí pomocí funkce **Calculate (první derivace)** v **DataStudios**.
3. Konduktometrické křivky vyhodnotí pomocí funkce **Minimum** a nástroje **Smart Tool** (  ).



4. Ze zjištěného objemu NaOH zkontrolují studenti výpočtem látkovou koncentraci použité kyseliny chlorovodíkové.

## Motivace studentů

V úvodu se zmíníme o pH a jeho hodnotách. Studenti uvedou příklady silně kyselých, kyselých, neutrálních, zásaditých a silně zásaditých látek z běžné života (např. ocet, citrónová šťáva, perlivá voda, roztok kuchyňské soli, roztok sody, čisticí louh). Vedeme krátkou diskusi o tom, co dané hodnoty pH způsobuje. Dále se ptáme, co je elektrická vodivost, čím je způsobena a k čemu by se jí dalo využít. Zmíníme pojem neutralizace. Zeptáme se studentů, jestli se při neutralizacích může elektrická vodivost měnit.

## Doporučený postup

1. Každá pracovní skupina dostane „pracovní návod“ a každý člen skupiny „pracovní list“. Studenti si nejprve přečtou návod a teprve pak začnou s přípravou vlastního experimentu.
2. Doporučujeme, aby každý člen pracovní skupiny dostal svůj vlastní úkol. Pro čtyřčlennou skupinu například:
  - *student 1* – vedoucí týmu – dbá na to, že skupina bude při práci postupovat podle pracovního návodu,
  - *student 2* – koordinuje vyplňování pracovních listů a vyplněné pracovní listy vybírá (každý student si vyplní svůj pracovní list),
  - *student 3* – má na starosti sestavení/nastavení a obsluhu použitých přístrojů,
  - *student 4* – obsluhuje PC (SW pro získání a zpracování dat z použitých přístrojů).
3. Připojte zařízení (konduktometr) přes USB rozhraní k počítači (viz obrázek).



4. Vyberte odpovídající soubor DataStudia (**03\_potenc\_kondukt\_titrace.ds**) a pokračujte podle postupu uvedeného v „pracovním návodu“.

## Příprava úlohy

Studenti vyplní (za domácí úkol nebo na začátku práce) slovníček pojmů a přípravnou část úlohy v „pracovním listě“. Je nezbytné, aby studenti tyto části vypracovali před vlastní experimentální činností. Zjistěte, jak studenti přípravnou část úlohy vypracovali.

## Materiály pro studenty

„Pracovní návod“ postupně provede studenty („krok za krokem“) celou úlohou.

„Pracovní list“ slouží studentům k zaznamenání získaných dat, jejich analýze a pochopení.

## Záznam dat

Postup při zaznamenávání dat je popsán v „pracovním listě“. Upozorněte studenty na to, že před vlastním započítáním měření je třeba úloze opravdu porozumět.

## Analýza dat

Naměřená data studentům poslouží ke zodpovězení otázek v pracovním listu. Upozorněte studenty na souhrnné otázky. V učitelské verzi pracovního listu jsou uvedeny typické odpovědi studentů.

## Syntéza a závěr

Poté, co studenti vyplní své pracovní listy, společně shrneme získané poznatky o titracích a indikaci bodu ekvivalence. Vysvětlíme princip stanovení koncentrace látky pomocí titrace.

## Hodnocení

*(Viz dříve uvedené cíle.)*

- Sestavili a použili studenti měřicí zařízení správně?
- Postupovali korektně podle pracovního postupu?
- Pochopili studenti průběh potenciometrických a konduktometrických křivek?
- Vypracovali studenti správně své pracovní listy?



### **Pasco zdroje**

Na stránkách [www.pasco.com](http://www.pasco.com) a [www.pasco.cz](http://www.pasco.cz) naleznete řadu dalších zdrojů.

- Dokáží studenti vysvětlit odlišný průběh potenciometrické titrační křivky kyseliny chlorovodíkové a trihydrogenfosforečné?
- Stanovili koncentraci kyseliny chlorovodíkové správně?
- Jsou studenti schopni zdůvodnit případné rozpory mezi stanovenou a skutečnou koncentrací kyseliny chlorovodíkové?

### **Internetové odkazy**

[http://store.pasco.com/pascostore/showdetl.cfm?&DID=9&Product\\_ID=51987&Detail=1](http://store.pasco.com/pascostore/showdetl.cfm?&DID=9&Product_ID=51987&Detail=1)

[http://store.pasco.com/pascostore/showdetl.cfm?&DID=9&Product\\_ID=51978&Detail=1](http://store.pasco.com/pascostore/showdetl.cfm?&DID=9&Product_ID=51978&Detail=1)

<http://cs.wikipedia.org/wiki/Titrace>

<http://uiozp.ft.utb.cz/uiozp/studmat/200694133919/bodekv.doc>

[http://www.volny.cz/pilarcikova/cht/docs/Konduktometricka\\_titrace.pdf](http://www.volny.cz/pilarcikova/cht/docs/Konduktometricka_titrace.pdf)

<http://www.jergym.hiedu.cz/~canovm/objevite/objev2/sore.htm>





## CHEMIE

laboratorní cvičení č. 3

3

• CHEMIE

## Změny pH a vodivosti při titracích (návod)

### Zadání úlohy

Změřte potenciometrické a konduktometrické titrační křivky kyseliny chlorovodíkové a kyseliny fosforečné. Určete body ekvivalence u jednotlivých kyselin a ověřte koncentraci použité kyseliny chlorovodíkové.

### Pomůcky

- počítač s USB portem
- PASPORT USB Link (Interface) nebo Xplorer
- PASPORT čidlo elektrické vodivosti
- PASPORT čidlo pH
- software DataStudio
- 0,1 M roztok HCl, 100 ml
- 0,1 M roztok H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, 100 ml
- 0,1 M roztok NaOH, 500 ml
- skleněná tyčinka
- kádinky 150 ml (3 ks)
- pipety s balónkem (2 ks), 10 ml
- byreta na hydroxid sodný
- míchadlo (doporučujeme magnetické)
- popisovač zkumavek (lihový fix)
- stojánek na zkumavky
- destilovaná voda, 500 ml
- buničina
- *pracovní návod*
- *pracovní list*
- *ochranné pracovní pomůcky*

PRACOVNÍ NÁVOD



## Bezpečnost práce

*Pracujte pečlivě a v souladu s pracovním návodem. S chemikáliemi zacházejte vždy dle instrukcí pedagoga. Nikdy nepipetujte ústy (vždy používejte balónek). V laboratoři používejte ochranné brýle, plášť a případně další pomůcky v souladu se správnou laboratorní praxí.*

## Teoretický úvod

Při titračních stanoveních se k určení bodu ekvivalence, tj. konce titrace může použít indikátor (dochází ke změně barvy nebo vzniku sraženiny). Průběh neutralizačních titrací lze pozorovat sledováním pH nebo měrné vodivosti titrovaného roztoku. Při těchto titracích se mění koncentrace vodíkových iontů  $H^+$  v závislosti na použitém titračním činidle. pH se nejčastěji měří pH – měrnou elektrodou (nejčastěji skleněnou). Při této tzv. potenciometrické titraci se měří závislost pH (napětí) na objemu přidaného titračního činidla. Tato závislost má typický esovitý průběh. Přesná hodnota pH není v tomto případě důležitá, významná je spotřeba činidla, při níž se na titrační křivce projeví výrazná změna pH (napětí) – tzv. titrační (potenciálový) skok. Bod ekvivalence lze nejjednodušeji (za předpokladu využití výpočetní techniky) zjistit pomocí tzv. první derivace, která se projeví jako maximum na křivce. Zjednodušeně lze říci, že se jedná o podíl rozdílu hodnot pH a rozdílu objemů dvou sousedních bodů.

Vodivost roztoku  $G$  je převrácenou hodnotou elektrického odporu, je přímo úměrná tzv. měrné vodivosti  $\kappa$  a geometrické ploše elektrod a nepřímo úměrná její vzdálenosti. Pokud měrnou vodivost vztáhneme na jednotkovou molární koncentraci získáme tzv. molární vodivost, která společně s koncentrací přispívají k celkové vodivosti roztoku podle rovnice (1) a (2). Měření měrné vodivosti lze využít k určení bodu ekvivalence.

$$G = 1/R = \kappa \cdot (S/l) \quad (1)$$

kde  $G$  ... vodivost (S – Siemens nebo  $\Omega^{-1}$ )

$R$  ... odpor ( $\Omega$  – „omega“, Ohm)

$l$  ... vzdálenost elektrod (cm)

$S$  ... plošná velikost elektrod ( $cm^2$ )

$\kappa$  ... měrná vodivost („kapa“, S/cm)

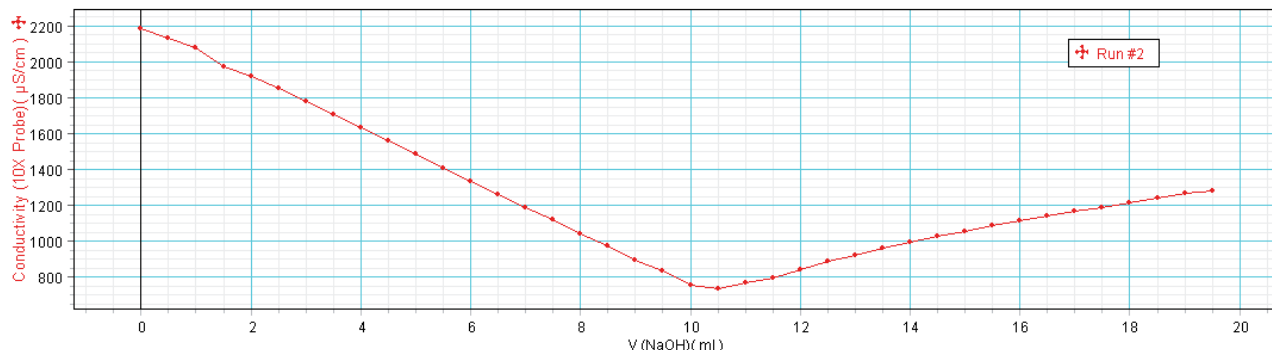
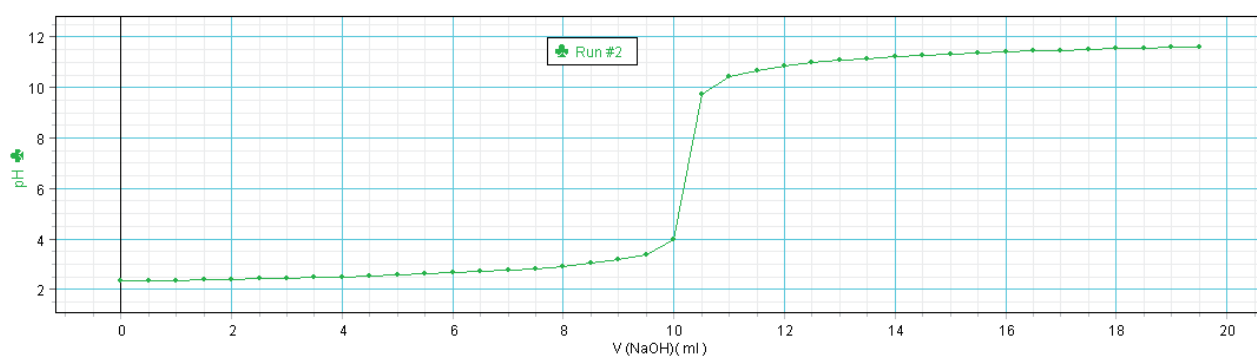
$$\kappa (\text{rozpuštěná látka}) = c \cdot (\Lambda(\text{kation}) + \Lambda(\text{anion}))/1000 \quad (2)$$

kde  $c$  ... koncentrace (mol/l)

Konduktometrické (vodivostní) titrace jsou založeny na měření změn vodivosti v průběhu titrace. Absolutní hodnota vodivosti není důležitá, ale sledujeme změnu

vodivosti resp. její nejnižší hodnotu. Při titraci silné kyseliny silným hydroxidem dochází k poklesu koncentrace iontu  $H^+$  a tím k poklesu vodivosti. Nejmenší vodivosti je dosaženo v bodě ekvivalence, kde nejsou přítomny téměř ionty  $H^+$  a  $OH^-$ . Za bodem ekvivalence dochází ke zvyšování koncentrace iontů  $OH^-$  a tím k opětovnému zvýšení vodivosti. Hodnota vodivosti aniontu kyseliny se nemění, hodnota vodivosti kationtu hydroxidu vzrůstá. Konduktometrické titrace využívají rozdílné (vyšší) hodnoty molárních vodivostí iontu  $H^+$  a  $OH^-$  od ostatních iontů, jak je naznačeno v tabulce.

Kationt	$\Lambda^+ \cdot 10^4 [S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}]$	Aniont	$\Lambda^- \cdot 10^4 [S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}]$
$H^+$	349,8	$OH^-$	198,0
$Na^+$	50,1	$Cl^-$	76,3



Ukázkový obrázek potenciometrické (nahore) a konduktometrické (dole) titrační křivky.

1. V této úloze nejprve změříme potenciometrické a konduktometrické titrační křivky kyseliny chlorovodíkové a kyseliny fosforečné.
2. Určíme body ekvivalence u jednotlivých kyselin.
3. Ověříme koncentraci použité kyseliny chlorovodíkové.

## Příprava úlohy (praktická příprava)

Nejprve zpracujte slovníček a teoretickou přípravu na „pracovním listě“ a teprve potom začněte pracovat v laboratoři.

### Postup práce

#### Nastavení HW a SW

1. Připojte zařízení (konduktometr) přes USB rozhraní k počítači (viz obrázek).



2. Připojte zařízení (čidlo pH) přes další USB rozhraní k počítači (viz obrázek).



3. Vyberte a otevřete odpovídající konfigurační soubor DataStudia

**03\_potenc\_kondukt\_titrace.ds**

a pokračujte podle postupu uvedeného v „pracovním návodu“.

**Poznámka:** Konfigurační soubory automaticky otevřou potřebná okna a nastaví výchozí parametry (rychlost snímání atd.).

### Příprava měření

#### Kalibrace konduktometru (je-li nezbytná)

1. Klikněte na záložku **SETUP** a poté zvolte tlačítko **CALIBRATE**.
2. Zapište známou hodnotu měrné vodivosti standardu (např. 0,01M KCl odpovídá vodivosti  $1413 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  při  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) do textového pole.
3. Vložte vodivostní celou do roztoku standardu.
4. Klikněte na tlačítko **SET**.
5. Klikněte na tlačítko **OK**.

#### Kalibrace pH elektrody (je-li nezbytná)

1. Klikněte na záložku **SETUP** a poté zvolte tlačítko **CALIBRATE**.
2. Zvolte 2 bodovou kalibraci (**2 Point**).
3. Zapište hodnotu pufru č. 1 (např. 4) do textového pole.






4. pH elektrodu vyjměte z uchovávacího roztoku, opláchněte ji destilovanou vodou a osušte buničinou.
5. Vložte pH elektrodu do roztoku pufru č. 1 (pH = 4).
6. Klikněte na tlačítko **READ FROM SENSOR**.
7. Vyjměte elektrodu z roztoku a pečlivě ji opláchněte destilovanou vodou a osušte buničinou.
8. Body 5–7 opakujte pro pufr č. 2 (pH = 9).
9. Klikněte na tlačítko **OK**.

#### Příprava roztoků a byrety

1. Ze zásobního roztoku 0,1 M NaOH si odlijte asi 100 ml do připravené kádinky.
2. Byretu propláchněte destilovanou vodou. Dále ji propláchněte odměrným roztokem 0,1 M NaOH, upevněte ji pomocí držáku do křížové spojky na stojan.
3. Byretu naplňte odměrným roztokem 0,1 M NaOH, dbejte na to, aby ve výpustné části nebyl vzduch.
4. Ze zásobního roztoku 0,1 M HCl si odlijte asi 50 ml do připravené kádinky.
5. Do čisté a vypláchnuté (destilovanou vodou a poté vzorkem) kádinky si odpipe-tujte 10 ml 0,1 M HCl a zředte destilovanou vodou, tak aby pH elektroda i vodi-vostní cela byly ponořeny.
6. Do stojanu upevněte obě čidla (pH a vodivostní).
7. Do kádinky se vzorkem ponořte míchadlo nebo vhodte míchadélko magnetic-kého míchadla a ponořte obě čidla (pH a vodivostní) opláchnutá destilovanou vodou a pečlivě osušená buničinou.



#### **Vlastní měření (záznam dat)**

##### *Měření vodivosti a hodnoty pH*

1. Zaznamenávání dat zahajte kliknutím na tlačítko **Start** (  Start ).
  - Tlačítko **Start** (  Start ) se změní na tlačítko **Keep** (  Keep ). Po ustálení hodnoty pH a vodivosti stiskněte tlačítko **Keep** (  Keep ). Na číslicovém displeji se zobrazí změřená hodnota pH a měrné vodivosti. Tyto hodnoty se zapíší do tabulky a do grafů.
2. Z byrety přidejte 0,5 ml a po ustálení obou hodnot stiskněte opět tlačítko **Keep**.
3. Z byrety přidejte další 0,5 ml a krok 2 opakujte až do hodnoty 20 ml, resp. do konstantní hodnoty pH.
4. Po ukončení měření klikněte na tlačítko **Stop** (  Stop ).
5. Celý postup opakujte i pro vzorek kyseliny trihydrogenfosforečné.
6. Po skončení měření obě čidla opláchněte opakovaně destilovanou vodou, osušte buničinou a pH elektrodu vložte do nádoby s uchovávacím roztokem.

### Analýza naměřených dat

Naměřené hodnoty vodivostí přepište do tabulky svého pracovního listu.

1. V okně grafu potenciometrické křivky klikněte na tlačítko **Calculate** a potvrďte **OK**.
2. Ze záložky **Speciál** zvolte možnost **Derivative(2,x)** a klikněte na tlačítko **Accept**. V grafu se vykreslila křivka derivace.
3. Klikněte na tlačítko funkce **Smart Tool** (). Umístěte kurzor do maxima derivační křivky na ose **x** odečtete objem odpovídající ekvivalenci.
4. Kroky 1–3 opakujte i pro data získaná při titraci kyseliny fosforečné. Pomocí funkce **Smart Tool** () odečtěte oba body ekvivalence – tj. obě maxima derivační křivky.  
**Tip:** Odečet bodu ekvivalence lze provést jednoduše stisknutím tlačítka  $\Sigma$ .
5. V okně grafu konduktometrické křivky klikněte na tlačítko  $\Sigma$ . Tato hodnota odpovídá bodu ekvivalence.  
**Tip:** Odečet bodu ekvivalence konduktometrické titrace lze provést rovněž postupem uvedeným v bodě 3.
6. Zaznamenejte zjištěnou hodnotu koncentrace do „pracovního listu“.
7. Své výsledky v **DataStudios** uložte (nabídka File → Save Activity As...) na místo, které máte vyhrazeno k ukládání svých souborů.
8. Odpovězte na otázky v „pracovním listu“.
9. Dle instrukcí učitele uklidte své pracovní místo.

## Změny pH a vodivosti při titracích pracovní list (učitel)

### Slovníček pojmů

S využitím dostupných zdrojů vysvětlíte následující pojmy:



#### Titrace:

*Titrace je metoda kvantitativní analýzy. Je založena na stanovení neznámé koncentrace známého objemu vzorku (titru) změřením objemu titračního standardu (o známé koncentraci), který jsme spotřebovali, aby látky právě a beze zbytku zreagovaly (tzv. bod ekvivalence). Aby se jednoznačně a přesně zjistilo, kdy nastal bod ekvivalence, většinou se přidává do titrovaného roztoku tzv. indikátor – látka, která výrazně mění barvu podle podmínek. Indikátory jsou většinou buď selektivní (zbarví se podle přítomnosti nějaké látky, např. škrob), nebo acidobazické (zbarvují se podle pH). K určení bodu ekvivalence lze použít některou fyzikálně – chemickou metodu, např. pH nebo el. vodivost.*

#### Bod ekvivalence:

*Bod ekvivalence je okamžik skončení chemické reakce. Jde o dosažení stavu, kdy stanovovaná látka právě kvantitativně zreagovala s přidaným činidlem ve známém stechiometrickém poměru. Bod na titrační křivce odpovídající přidání množství titračního činidla stechiometricky ekvivalentního množství titrované látky. Často se bod ekvivalence projeví nápadnou změnou vlastností titrační směsi. Bud' vznikem*

zákalu, sraženiny, nebo změnou barvy. K jeho zvýraznění se často přidává malé množství indikátoru, který zřetelně reaguje s prvním přebytkem použitého titračního činidla.

## pH

Hodnota pH je definována jako záporně vzatý dekadický logaritmus aktivity (koncentrace) oxoniových kationtů.

$$\text{pH} = -\log(c(\text{H}_3\text{O}^+))$$

Pro kyselou oblast platí:  $c(\text{H}_3\text{O}^+) > c(\text{OH}^-)$

Pro neutrální oblast platí:  $c(\text{H}_3\text{O}^+) = c(\text{OH}^-)$

Pro zásaditou oblast platí:  $c(\text{H}_3\text{O}^+) < c(\text{OH}^-)$

## Elektrická vodivost G:

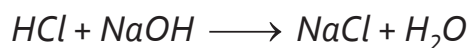
Vodivost roztoku je převrácená hodnota elektrického odporu, udává se v jednotkách S (Siemens), popřípadě  $\Omega^{-1}$ . Je přímo úměrná měrné vodivosti a plošné velikosti elektrod, nepřímo úměrná vzdálenosti elektrod.

## Měrná vodivost $\kappa$ :

Je charakteristickou vlastností měřeného roztoku, závisí na koncentraci všech iontů v roztoku. Můžeme ji měřit v závislosti na koncentraci.

## Neutralizace:

Neutralizace je chemická reakce kyseliny se zásadou. Produkty této reakce jsou příslušná sůl kyseliny a voda. Klasickým příkladem je reakce kyseliny chlorovodíkové a hydroxidu sodného, při níž vzniká chlorid sodný:

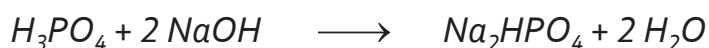
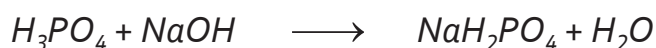
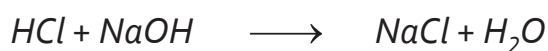


## Teoretická příprava úlohy

1. Co je to titrační křivka a jakým způsobem ji lze získat?

*Jedna z možných odpovědí: Je to závislost měřené fyzikálně-chemické veličiny (např. pH) na objemu titračního činidla. Získáme ji měřením dané veličiny při přidávku známého objemu titračního činidla.*

2. Chemickými rovnicemi popište prováděné chemické reakce:



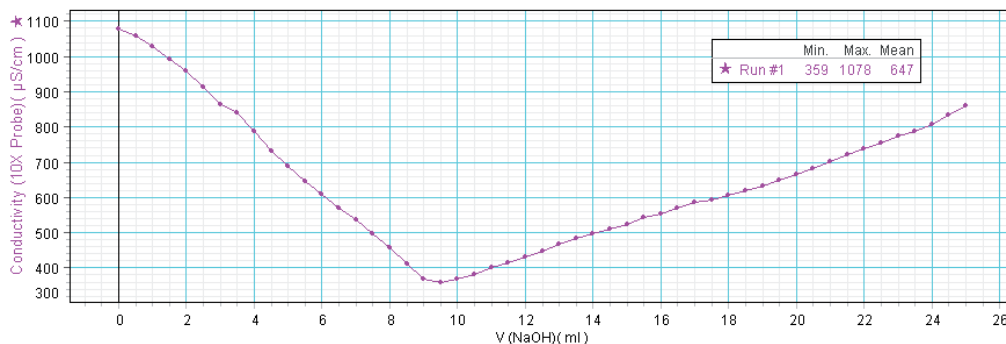
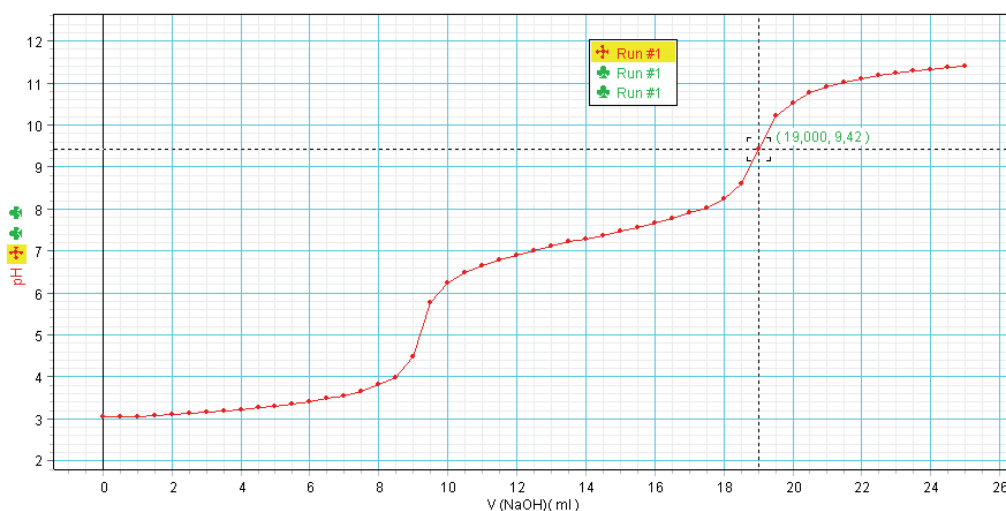
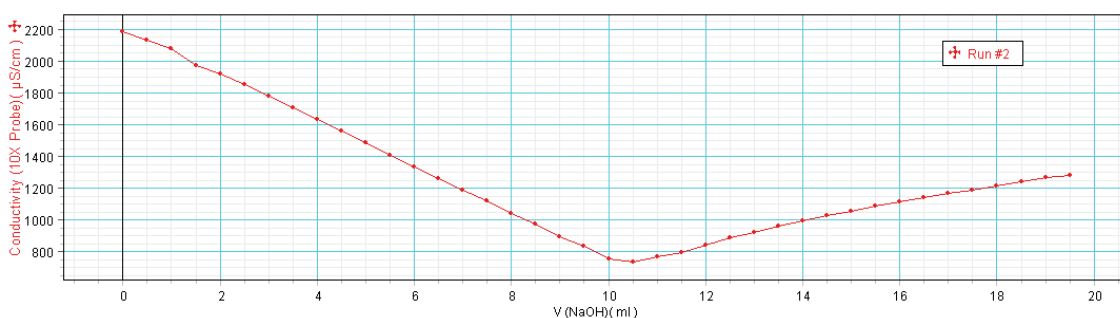
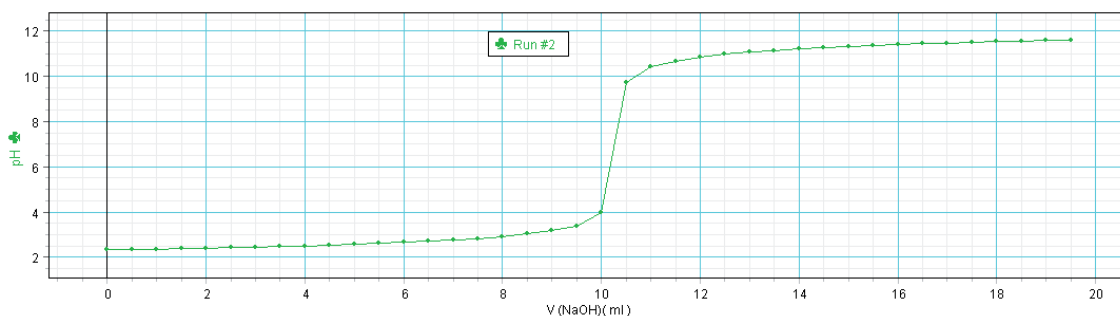
3. Na čem bude záviset, který z produktů bude při titraci kyseliny trihydrogenfosforečné vznikat?

*Jedna z možných odpovědí: Bude to záviset na množství přidaného hydroxidu sodného a tedy na pH roztoku.*



## Vizualizace naměřených dat

1. Do pracovního listu vložte graf titračních křivek (potenciometrické a konduktometrické) při titracích jednotlivých kyselin.



Ukázkové titrační křivky

## Vyhodnocení naměřených dat

1. Do připravené tabulky zaznamenejte naměřené hodnoty zjištěné z potenciometrické křivky (měření pH) a konduktometrické křivky (měření měrné vodivosti) při titraci HCl.

Položka	Hodnota
<i>Potenciometrická titrační křivka</i>	
Počáteční hodnota pH	2,33
Objem NaOH odpovídající bodu ekvivalence	10,25 ml
pH bodu ekvivalence	7,17
<i>Konduktometrická titrační křivka</i>	
Počáteční hodnota měrné vodivosti	2185 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
Objem NaOH odpovídající bodu ekvivalence	10,35 ml
Hodnota měrné vodivosti v bodě ekvivalence	737 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$

2. Do připravené tabulky zaznamenejte naměřené hodnoty zjištěné z potenciometrické křivky (měření pH) a konduktometrické křivky (měření měrné vodivosti) při titraci  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

Položka	Hodnota
<i>Potenciometrická titrační křivka</i>	
Počáteční hodnota pH	3,05
Objem NaOH odpovídající 1. bodu ekvivalence	9,22 ml
pH 1. bodu ekvivalence	5,13
Objem NaOH odpovídající 2. bodu ekvivalence	19,00 ml
pH 2. bodu ekvivalence	9,42
<i>Konduktometrická titrační křivka</i>	
Počáteční hodnota měrné vodivosti	1078 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
Objem NaOH odpovídající 1. bodu ekvivalence	9,50 ml
Hodnota měrné vodivosti v 1. bodě ekvivalence	359 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
Objem NaOH odpovídající 2. bodu ekvivalence	nelze odečíst
Hodnota měrné vodivosti v 2. bodě ekvivalence	nelze odečíst

3. Proveďte kontrolu koncentrace použité HCl, výpočtem. Jako spotřebu NaOH počítejte průměrnou hodnotu získanou z titrační a konduktometrické křivky.

$$n(\text{HCl}) = n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \times V(\text{NaOH}) = 0,1 \times 10,3 = 1,03 \text{ mmol}$$

$$c(\text{HCl}) = n(\text{HCl}) / V(\text{HCl}) = 1,03 / 10 = 0,103 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$$

## Závěr

1. Vysvětlete, proč při titraci kyseliny chlorovodíkové je zřetelný pouze jeden titrační skok a v případě kyseliny trihydrogenfosforečné dva titrační skoky?

*Kyselina chlorovodíková je jednosytná – odštěpuje pouze jeden atom vodíku, kyselina trihydrogenfosforečná je sice trojsytná, ale odštěpuje pouze dva atomy vodíku.*

2. Vysvětlete, proč přidavkem hydroxidu sodného nejprve klesala měrná vodivost a za bodem ekvivalence opět rostla?

*Přidavkem roztoku NaOH klesala koncentrace volných iontů  $H_3O^+$  a tedy klesala měrná vodivost. Za bodem ekvivalence naopak vzrůstala koncentrace iontů  $OH^-$ , což je opět spojeno se vzrůstem měrné vodivosti.*

**Tip:** Pro základní školu lze tuto otázku nahradit:

Vysvětlete, proč se přidavkem hydroxidu sodného mění hodnota pH?

*Přidavkem roztoku NaOH klesá koncentrace iontů  $H_3O^+$ . V bodě ekvivalence platí rovnost iontů  $H_3O^+$  a  $OH^-$ .*

3. Uvedte, jaký je stechiometrický (reakční) poměr mezi kyselinou trihydrogenfosforečnou a hydroxidem sodným, který odpovídá druhému titračnímu skoku.

*Stechiometrický poměr je 1:2, podle reakce:*



4. Jaká je skutečná (vámi zjištěná) hodnota koncentrace roztoku HCl?

*Koncentrace roztoku HCl je 0,103 mol/l.*

5. Zjistěte, kterou významnou osobností byla zavedena veličina pH.

**Soren Peter Lauritz Sorensen** (9. 1. 1868 – 12. 2. 1939), dánský biochemik, který navrhl způsob, jak vyjádřit kyselost roztoků – záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů (pH). Sorensen nejprve začal studovat medicínu na univerzitě v Kodani, ale zanedlouho medicínu zanechal a studoval chemii. Absolvoval univerzitu v Kodani v roce 1881, a pracoval na anorganických syntézách pod vedením prof. S. M. Jorgensena (1837–1914) na technické univerzitě v Kodani. K pH se dostal při studiu enzymatických procesů. Rovněž stál u zrodu tlumivých roztoků, tzv. pufrů.

## Pracovní list studenta

skupina: .....

jméno: ..... třída: ..... datum: .....

---

### Slovníček pojmů

S využitím dostupných zdrojů vysvětlete následující pojmy:

**Titrace:**

**Bod ekvivalence:**

**pH:**

**Elektrická vodivost G:**

**Měrná vodivost  $\kappa$ :**

**Neutralizace:**

### **Teoretická příprava úlohy**

1. Co je to titrační křivka a jakým způsobem ji lze získat?

2. Chemickými rovnicemi popište prováděné chemické reakce?

3. Na čem bude záviset, který z produktů bude při titraci kyseliny trihydrogenfosforečné vznikat?

## Vizualizace naměřených dat

1. Do pracovního listu vložte graf titračních křivek (potenciometrické a konduktometrické) při titracích jednotlivých kyselin.

## Vyhodnocení naměřených dat

1. Do připravené tabulky zaznamenejte naměřené hodnoty zjištěné z potenciometrické křivky (měření pH) a konduktometrické křivky (měření měrné vodivosti) při titraci HCl.

Položka	Hodnota
<i>Potenciometrická titrační křivka</i>	
Počáteční hodnota pH	
Objem NaOH odpovídající bodu ekvivalence	
pH bodu ekvivalence	
<i>Konduktometrická titrační křivka</i>	
Počáteční hodnota měrné vodivosti	
Objem NaOH odpovídající bodu ekvivalence	
Hodnota měrné vodivosti v bodě ekvivalence	

2. Do připravené tabulky zaznamenejte naměřené hodnoty zjištěné z potenciometrické křivky (měření pH) a konduktometrické křivky (měření měrné vodivosti) při titraci  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

Položka	Hodnota
<i>Potenciometrická titrační křivka</i>	
Počáteční hodnota pH	
Objem NaOH odpovídající 1. bodu ekvivalence	
pH 1. bodu ekvivalence	
Objem NaOH odpovídající 2. bodu ekvivalence	
pH 2. bodu ekvivalence	
<i>Konduktometrická titrační křivka</i>	
Počáteční hodnota měrné vodivosti	
Objem NaOH odpovídající 1. bodu ekvivalence	
Hodnota měrné vodivosti v 1. bodě ekvivalence	
Objem NaOH odpovídající 2. bodu ekvivalence	
Hodnota měrné vodivosti v 2. bodě ekvivalence	

3. Proveďte kontrolu koncentrace použité HCl, výpočtem. Jako spotřebu NaOH počítejte průměrnou hodnotu získanou z titrační a konduktometrické křivky.

## Závěr

1. Vysvětlete, proč při titraci kyseliny chlorovodíkové je zřetelný pouze jeden titrační skok a v případě kyseliny trihydrogenfosforečné dva titrační skoky?

2. Vysvětlete, proč přidávkem hydroxidu sodného nejprve klesala měrná vodivost a za bodem ekvivalence opět rostla?

**Tip:** Pro základní školu lze tuto otázku nahradit:

Vysvětlete, proč se přidávkem hydroxidu sodného mění hodnota pH?

3. Uvedte, jaký je stechiometrický (reakční) poměr mezi kyselinou trihydrogenfosforečnou a hydroxidem sodným, který odpovídá druhému titračnímu skoku.

4. Jaká je skutečná (vámi zjištěná) hodnota koncentrace roztoku HCl?

5. Zjistěte, kterou významnou osobností byla zavedena veličina pH.