# Měření parametrů vzduchové cívky (opravit relativní chybu OM: 100x …..)

## Úkol měření

1. V rámci domácí přípravy zopakujte problematiku magnetického pole.
2. V rámci domácí přípravy nastudujte problematiku měření indukčnosti.
3. Změřte indukčnost a ohmický (činný) odpor vzduchové cívky Ohmovou metodou.
4. Změřte indukčnost a ohmický odpor cívky rezonanční metodou.
5. Změřte indukčnost a ohmický odpor RLC můstkem.
6. Vypočítejte činitel jakosti cívky *Q*V a porovnejte ho s naměřeným činitelem jakosti *Q*N.
7. Zhodnoťte chyby měření měřicích přístrojů a jejich vliv na celkové chyby jednotlivých, porovnejte výsledky obou metod, proveďte srovnání s vypočtenými hodnotami.
8. U vybraných naměřených a vypočtených hodnot vypočtěte chyby měření.
9. Zhodnoťte celkové chyby měření provedených metod, srovnejte se systematickými chybami.

## Obecná část

### Ohmova metoda

Provádíme-li informativní měření indukčnosti Ohmovou metodou, lze ohmický odpor vinutí (odpor vodiče, z něhož je cívka navinuta) zanedbat. Zanedbání můžeme provést pouze u cívek s velkým průřezem vodiče a nízkým počtem závitů (ohmický odpor je zde malý), v opačném případě nám vzniká na ohmickém odporu relativně velký úbytek napětí, jenž nám zhoršuje přesnost měření. Případné možné zanedbání zjednoduší jak samotné měření, tak i následné výpočty. Obecně musíme brát odpor v úvahu.

Odpor měříme nepřímo, Ohmovou metodou (první schéma v prvním obrázku). Induktivní reaktance závisí lineárně na kmitočtu, takže se při stejnosměrném napájení v ustáleném stavu neprojevuje. Činný odpor je tak dán vztahem:

Rovnice 1

Pro lepší přesnost určení odporu je možné eliminovat chybu metody způsobenou spotřebou voltmetru všeobecně známým způsobem.

Potom připojíme cívku na střídavý napájecí zdroj (generátor). Při harmonickém budícím signálu je velikost impedance dána z Ohmova zákona:

Rovnice 2

a současně ztrátovým odporem cívky a její reaktancí:

Rovnice 3

Po vzájemném dosazení obou rovnic obdržíme rovnici o jedné neznámé, kterou je hledaná hodnota indukčnosti *L*.

### Rezonanční metoda

Rezonanční metoda je založena na rovnosti induktivní a kapacitní reaktance akumulačních prvků při rezonančním kmitočtu. Platí:

Rovnice 4

Musíme vyřešit problém s nalezením hodnoty rezonančního kmitočtu. Při rezonanci sériově řazených prvků je impedance dána pouze ztrátovým odporem cívky. Impedance je v tomto kmitočtu nejnižší, na ampérmetru zaznamenáváme maximální hodnotu proudu.

Při nastavení nízkého kmitočtu pozorujeme určitou hodnotu proudu; proud s rostoucím kmitočtem stoupá (když stoupá pomaleji než v počátku pokusu, blížíme se k rezonanci). V dalším přiblížení měníme kmitočet pomaleji, dokud nenalezneme bod maxima proudu, kmitočet z generátoru zaznamenáme. Každá z akumulačních součástí způsobuje určitý fázový posun mezi fázory napětí a proudu. Vzhledem k tomu, že smysl posuvu je opačný, platí:

Rovnice 5

Napětí na kapacitě i indukčnosti jsou stejně velká a vzájemně se také ruší. Pro proud potom platí, že:

Rovnice 6

Do rovnosti kapacitní a induktivní reaktance dosazujeme velikost rezonančního kmitočtu a kapacity, dopočítáme indukčnost. Z hodnoty napětí a rezonančního proudu určíme velikost ztrátového odporu. Vzhledem k tomu, že přesné hledání bodu rezonance je obtížné, pohybujeme se zpravidla pouze v jeho okolí. Měření je pak zatíženo relativně velkou chybou. Je třeba také dávat pozor na chybu metody (zejména u analogových ampérmetrů) a na lokalizaci na frekvenční charakteristice MP.

### Činitel jakosti

Vypočtená hodnota činitele jakosti je poměr induktivní reaktance cívky k jejímu ohmickému odporu:

Rovnice 7

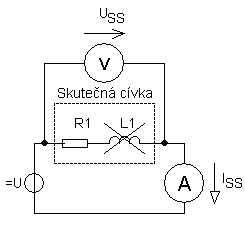
Zjistíme díky němu, kolikrát vzroste napětí na indukčnosti i kapacitě při rezonanci. Víme již, že obě napětí jsou co do velikosti přibližně stejná, co do charakteru jalová. Při uvádění obvodu do rezonance potřebujeme činitel jakosti znát, abychom mohli správně napěťově dimenzovat součástky. Pro napětí na obou prvcích platí:

Rovnice 8

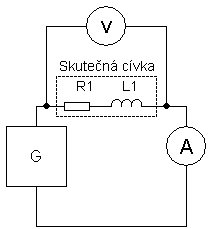
V našem případě budeme zjišťovat hodnotu činitele jakosti tak, že napětí na kapacitě a napětí generátoru vzájemně podělíme:

Rovnice 9

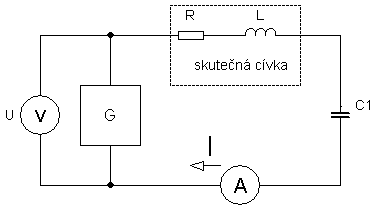
## Schéma zapojení



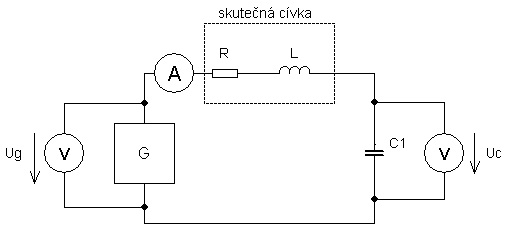
Obrázek 1: Aplikace Ohmovy metody - stejnosměrná část



Obrázek 2: Aplikace Ohmovy metody - střídavá část



Obrázek 3: Aplikace rezonanční metody



Obrázek 4: Měření činitele jakosti

## Postup měření

1. Realizujeme schéma pro Ohmovu metodu se stejnosměrným zdrojem a přivoláme vyučujícího ke kontrole zapojení.
2. Změříme napětí a proud, vypočteme odpor.
3. Realizujeme schéma pro Ohmovu metodu s generátorem a přivoláme vyučujícího ke kontrole zapojení.
4. Změříme napětí a proud, vypočteme impedanci a následně indukčnost.
5. Realizujeme schéma pro rezonanční metodu a přivoláme vyučujícího ke kontrole zapojení.
6. Nalezneme maximum proudu, zaznamenáme takto zjištěný rezonanční kmitočet. Dopočítáme hodnotu odporu (z napětí a rezonančního proudu) a indukčnosti (z rovnosti reaktancí).
7. Realizujeme schéma pro měření činitele jakosti a přivoláme vyučujícího ke kontrole zapojení.
8. Přivedeme obvod do rezonance, zapíšeme hodnoty napětí na generátoru a na kapacitě. Naměřenou hodnotu činitele jakosti srovnáme s hodnotou vypočtenou.
9. Změříme parametry cívky pomocí RLC můstku.
10. Porovnáme hodnoty zjištěné ostatními metodami s RLC můstkem, vypočteme absolutní a relativní chyby měření indukčnosti a zhodnotíme je.

## Otázky

1. Vypište známé veličiny pro popis magnetického pole a vztahy mezi nimi.
2. Popište možnosti aplikace vlastností magnetických polí.
3. Popište rozdílnost charakterů elektrostatického a magnetického pole.
4. Jak se odlišuje aplikace Ohmovy metody při měření vlastností cívek, odporů a kondenzátorů?
5. Vysvětlete fyzikální podstatu rezonance.
6. Vysvětlete, proč se napětí na jednotlivých prvcích při rezonanci cívky a kondenzátoru rovná pouze přibližně.
7. Popište význam měření indukčnosti v praktických technických aplikacích.
8. Vysvětlete princip můstkových metod pro měření pasivních elektrických veličin.
9. Vysvětlete, jak se změní obvodové parametry vzduchové cívky, pokud do ní vložíme jádro z feromagnetického materiálu.
10. Jaké materiály používáme pro jádra cívek v nízkofrekvenční a vysokofrekvenční technice?

## Tabulky naměřených hodnot

Tabulka 1: Aplikace Ohmovy metody - stejnosměrná část

|  |  |
| --- | --- |
| **Určení ztrátového odporu RLo** | |
| ***U*SS (V)** | ***I*SS (mA)** |
| 3,28 | 114,8 |

Tabulka 2: Aplikace Ohmovy metody - střídavá část

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Určení impedance cívky** | | |
| ***U*STŘ (V)** | ***I*STŘ (mA)** | ***f* (Hz)** |
| 0,7 | 110 | 100 |

Tabulka 3: Aplikace rezonanční metody

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***C* (F)** | ***f*r (Hz)** | ***U* (V)** | ***I*r (mA)** |
| 0,1 | 100 | 1,35 | 110 |

Tabulka 4: Měření činitele jakosti

|  |  |
| --- | --- |
| ***U*g (V)** | ***U*C (V)** |
| 2,4 | 6,1 |

Tabulka 5: Skutečné parametry cívky (měření RLC můstkem)

|  |  |
| --- | --- |
| ***R*L (Ω)** | ***L* (mH)** |
| 32,4 | 10,92 |

Tabulka 6: Parametry cívky (v případě cívky jiného tvaru zapište příslušné parametry od zde uvedených)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***N* ()** | ***a* (mm)** | ***b* (mm)** | ***l* (mm)** |
| 600 | 105 | 83 | 74 |

## Výpočty a odvození

Vypočtěte následující chyby měření způsobené měřicími přístroji a další vypočtené hodnoty.

### Ohmova metoda

=

### Rezonanční metoda

### Činitel jakosti

Vypočtený z parametrů cívky zjištěných RLC můstkem:

Vypočtený z naměřených hodnot napětí:

### Závěrečné zhodnocení jednotlivých metod – reference: údaj RLC můstku

Absolutní chyba Ohmovy metody měření R:

Relativní chyba Ohmovy metody měření R:

Absolutní chyba Ohmovy metody měření L:

Relativní chyba Ohmovy metody měření L:

Absolutní chyba rezonanční metody měření R:

Relativní chyba rezonanční metody měření R:

Absolutní chyba rezonanční metody měření L:

Relativní chyba rezonanční metody měření L:

## Tabulky vypočtených hodnot

Systematické chyby vycházející z chyb MP, zamyslete se nad významem metodických chyb.

Tabulka 7: Ohmova metoda - stejnosměrná část

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Určení ztrátového odporu RLo** | | | | | | |
| **ΔUss (…)** | **δUss (…)** | **ΔIss (…)** | **δIss(…)** | **RLo (Ω)** | **ΔR (…)** | **δR (…)** |
|  |  |  |  | 28,57 |  |  |

Tabulka 8: Ohmova metoda - střídavá část

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Určení impedance cívky *(následně indukčnosti cívky)*** | | | | | | | | | | | |
| **ΔUstř (…)** | ***δ*Ustř (…)** | **ΔIstř(…)** | **δIstř (…)** | **Δf (…)** | **δf (…)** | **|Z| (Ω)** | **ΔZ (…)** | **δZ (…)** | **Lo (H)** | **ΔLo (…)** | **δLo (…)** |
|  |  |  |  |  |  | 6,36 |  |  | 0,289 |  |  |

Tabulka 9: Rezonanční metoda

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ΔU (…)** | ***δ*U (…)** | **ΔIr(…)** | **δIr (…)** | **Δf (…)** | **δf (…)** | **RLr (Ω)** | **ΔRLr (…)** | **ΔRLr (…)** | **Lr (H)** | **ΔLr (…)** | **δLr (…)** |
|  |  |  |  |  |  | 0,01227 |  |  | 253,3 |  |  |

Kapacita kondenzátoru použitého při aplikaci rezonanční metody: …………………………………………………

Tolerance kondenzátoru použitého při aplikaci rezonanční metody: ………………………………………………

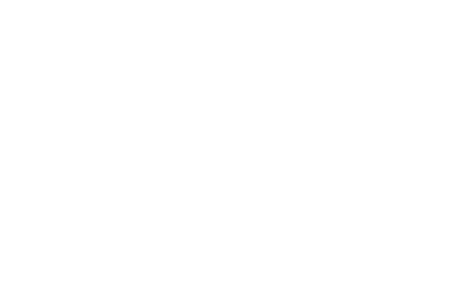
Tabulka 10: Srovnání činitelů jakosti

|  |  |
| --- | --- |
| **QN** | **QV** |
| 2,54 | 0,212 |

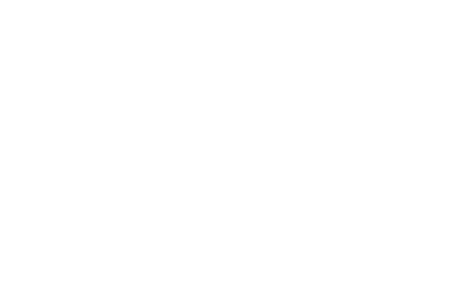
Tabulka 11: Srovnání přesnosti metod

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ohmova metoda* | | | | | |
| **RLo (Ω)** | **Lo (H)** | **ΔRohm (Ω)** | **δRohm (%)** | **ΔLohm (H)** | **δLohm (%)** |
| 28,57 | 0,289 | -3,89 | -11,82 | 0,27808 | 25,47 |
| *Rezonanční metoda* | | | | | |
| **RLr (Ω)** | **Lr (H)** | **ΔRLr (Ω)** | **δRLr (%)** | **ΔLr  (H)** | **δLr (%)** |
| 0,01227 | 253,3 | -32,38773 | -99,96 | 253,28908 | 2319497,07 |

## Grafické závislosti



Obrázek 5: Fázorový diagram (načrtněte pro aplikaci Ohmovy metody)



Obrázek 6: Fázorový diagram (načrtněte pro aplikaci rezonanční metody)

## Odpovědi na otázky

1. Magnetický tok (Φ, Wb) - vyjadřuje počet siločar mag. pole procházejících danou plochou kolmo na směr orientace siločar. Intenzita mag. Pole (H, A/m) - „mohutnost“ mag. pole v závislosti na faktorech, která pole vytvářejí. Magnetická indukce (B, T) - počet siločar magne­tického pole procházejících jednotkovou plochou (1m2). Permeabilita (µ, H/m) - magnetická polarizovatelnost.
2. Vlastnosti mag. pole se dá využít v různých situacích. Například se využívá v relé spínači, v elektromotorech roztáčí rotor, v pevných discích, detektory kovů a jiné elektromagnetické spotřebiče.
3. El. pole a mag. pole jsou rozdílné už třeba jen ve vzniku - el. Rozkládáním el. náboje a mag. proudem el. náboje, siločáry el. jdou od + do -, mag. jsou ve smyčce od magnetu k magnetu. Zdrojem el. pole jsou náboje kladné či záporné, u mag. pole jsou to pohybující se náboje nebo permanentní magnety.
4. Měření impedance Ohmovou metodou je stejný jako měření kapacity kondenzátoru. U odporu zapojíme rezistor ke zdroji proudu a měříme úbytek napětí.
5. Pokud se frekvence zdroje energie výrazně liší od frekvence oscilátoru, je účinek jen velmi malý. Pokud se frekvence zdroje energie liší jen málo od frekvence oscilátoru, amplituda se postupně zvětšuje. Největší je při stejných frekvencích. Dochází k jevu, který se nazývá rezonance.
6. Napětí se rovná pouze přibližně, protože se v obvodu projevují parazitní kapacity, ztráty energie při přenosu ve formě tepla.
7. Měření indukčnosti se hodí při výrobě transformátorů, poskytnutí informací o měřeném materiálu, filtrech a v bezdrátových komunikacích.
8. Principem je použít můstek, který se skládá ze čtyř odporových prvků (nejčastěji rezistory) pro porovnání hodnot prvků v obvodu s hodnotou neznámého prvku.
9. Při vložení feromagnetického jádra se zvýší indukčnost cívky a její magnetický odpor, změní se rezonanční frekvence. To je způsobeno tím, že magnetické jádro zvýší mag. pole a mag. tok.
10. Cívka pro nízkofrekvenční provoz má obvykle železné, zinkové jádro nebo z křemíkové oceli a velké množství vinutí. Ve vysokofrekvenční technice obvykle měď, nikl a hliníl.

## Závěr

Výpočty ukázali ve měření velikou chybu, což může být z důvodu špatně zapojeného obvodu, chybou měřícího přístroje, metodou měření nebo taktéž chybou lidskou.

## Informační prameny použité pro zpracování protokolu

1. http://www.supermagnety.cz/cz/64/teoreticky-uvod/fyzikalni-veliciny-popisujici-magneticke-pole/
2. https://cs.khanacademy.org/science/fyzika-elektrina-a-magnetismus/xe9fba794b097c46d:magneticke-pole/xe9fba794b097c46d:magneticka-indukce/a/what-are-magnetic-fields
3. https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/739
4. https://edu.techmania.cz/cs/encyklopedie/fyzika/akustika/kmitani/nucene-kmitani-rezonance
5. https://cs.wikipedia.org/wiki/Rezonanční\_obvod
6. http://hellweb.loose.cz/index.php?page=school&subpage=elm&id=9
7. http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/295-magneticke-vlastnosti-latek
8. https://www.tme.eu/cz/news/library-articles/page/42527/indukcni-civka-a-jeji-aplikace-v-praxi-elektronika/#Cewka-indukcyjna
9. https://www.pmn-nerez.cz/elektro/16016-jadro-civky.html

|  |  |
| --- | --- |
| **Datum vypracování:** | **26. února 2024** |
| **Čestné prohlášení:** | **Prohlašuji, že jsem protokol zpracoval samostatně, veškeré použité prameny jsem uvedl ve stati „Informační prameny použité pro zpracování protokolu“.** |
| **Podpis studenta:** |

## Použité přístroje

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Přístroj*** | ***Typ*** | ***Výrobní číslo*** | ***Inventární číslo*** | ***Poznámka*** |
| stab. zdroj |  |  |  | Údaje nebyly uvedeny |
| generátor |  |  |  | Údaje nebyly uvedeny |
| multimetr |  |  | 821052693 |  |
| multimetr |  |  |  | Údaje nebyly uvedeny |
| cívka |  |  |  | Údaje nebyly uvedeny |
| kondenzátor |  |  |  | Údaje nebyly uvedeny |
| RLC můstek |  |  |  | Údaje nebyly uvedeny |
| nf voltmetr |  |  |  | Údaje nebyly uvedeny |
| nf voltmetr |  |  |  | Údaje nebyly uvedeny |
| nf ampérmetr |  |  |  | Údaje nebyly uvedeny |

## Hodnocení

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***Etapa hodnocení úlohy*** | ***Bodovaná část*** | ***Maximální počet bodů*** | ***Získané body*** |
| Samostatná příprava | Ústní přezkoušení z měřené problematiky[[1]](#footnote-2) | 10 |  |
| Měření v laboratoři | Zapojování schémat, průběh měření | 5 |  |
| Konzultace | Nepovinná, proběhla dne:……………….[[2]](#footnote-3) | 5 |  |
| Zpracování protokolu | Úpravnost, struktura protokolu | 5 |  |
| Výpočty (dosazení, výsledky, jednotky) | 5 |  |
| Tabulky | 5 |  |
| Grafy (popis os, měřítko, vlastní graf) | 15 |  |
| Odpovědi na otázky | 10 |  |
| Závěr | 10 |  |
|  | Obhajoba[[3]](#footnote-4) | 30 |  |
| ***Celkové hodnocení*** | ***protokolu o laboratorním cvičení*** | ***100*** |  |

|  |  |
| --- | --- |
| ***Přiřazení klasifikace*** | |
| ***Počet získaných bodů*** | ***Hodnocení***[[4]](#footnote-5) |
| ***řádný termín*** |  |
| 0 až 49 | 5 |
| 50 až 60 | 4 |
| 61 až 70 | 3 |
| 71 až 85 | 2 |
| 86 až 100 | 1 |
| ***Uzavření klasifikace protokolu dne: ……………………… Podpis: ………………………*** | |

## Záznam naměřených hodnot

|  |  |
| --- | --- |
| **Úloha:** | Měření parametrů vzduchové cívky |
| **Datum měření:** | **Příjmení a jméno studenta:** |

Tabulka 12: Aplikace Ohmovy metody - stejnosměrná část

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Určení ztrátového odporu RLo** | | **Typy měřidel a rozsahy** |
| ***U*SS (V)** | ***I*SS (mA)** |  |
|  |  |  |

Tabulka 13: Aplikace Ohmovy metody - střídavá část

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Určení impedance cívky** | | | **Typy měřidel a rozsahy** |
| ***U*STŘ (V)** | ***I*STŘ (mA)** | ***f* (Hz)** |  |
|  |  |  |  |

Tabulka 14: Aplikace rezonanční metody

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ***C* (F)** | ***f*r (Hz)** | ***U* (V)** | ***I*r (mA)** | **Typy měřidel a rozsahy** |
|  |  |  |  |  |

Tabulka 15: Měření činitele jakosti

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***U*g (V)** | ***U*C (V)** | **Typy měřidel a rozsahy** |
|  |  |  |

Tabulka 16: Skutečné parametry cívky (měření RLC můstkem)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***R*L (Ω)** | ***L* (mH)** | **Typy měřidel a rozsahy** |
|  |  |  |

Tabulka 17: Parametry cívky (v případě cívky jiného tvaru zapište příslušné parametry od zde uvedených)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***N* ()** | ***a* (mm)** | ***b* (mm)** | ***l* (mm)** |
|  |  |  |  |

Datum měření:……………..............................Termín: řádný – náhradní (důvod:……………………………………)[[5]](#footnote-6)

## Použité přístroje

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| ***Přístroj*** | ***Typ*** | ***Výrobní číslo*** | ***Inventární číslo*** | ***Poznámka*** |
| stab. zdroj |  |  |  |  |
| generátor |  |  |  |  |
| multimetr |  |  |  |  |
| multimetr |  |  |  |  |
| cívka |  |  |  |  |
| kondenzátor |  |  |  |  |
| RLC můstek |  |  |  |  |
| nf voltmetr |  |  |  |  |
| nf voltmetr |  |  |  |  |
| nf ampérmetr |  |  |  |  |

### Poznámky

### Verifikace

Podpis vyučujícího:………………………………………………………………………………………………………………………………

1. Ústní přezkoušení prověřuje připravenost studenta. Nepřipravený student získá 0 bodů, obdrží náhradní práci, laboratorní úlohu měří po dohodě s vyučujícím v náhradním termínu. Pro náhradní termíny zůstává bodový stav 0, připravenost je již jen podmínkou k připuštění studenta k vlastnímu měření. Termín pro odevzdání protokolu se počítá od řádného termínu laboratorního cvičení. [↑](#footnote-ref-2)
2. Údaj v kolonce získané body platí pouze s vyplněním data, kdy konzultace proběhla, vyučující potvrdil konzultaci svým podpisem. [↑](#footnote-ref-3)
3. Obhajoba je ústní (s přípravou) nebo písemná, povinná. Student, který neprokáže znalost problematiky, nezískává body, úloha je hodnocena **NEDOSTATEČNĚ!** [↑](#footnote-ref-4)
4. V případě neuzavření klasifikace protokolu v řádném termínu je postupováno dle pravidel pro odevzdávání protokolů, jejichž znalost student potvrdil svým podpisem. [↑](#footnote-ref-5)
5. Nehodící se škrtněte! [↑](#footnote-ref-6)