

Praktikum školských pokusů 1, Elektřina

Podzimní semestr 2022



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Obsah

- 1. Demontrace závislosti elektrického odporu polovodičů na teplotě.
- 2. Demontrace závislosti elektrického odporu polovodičů na teplotě.
- 3 Hallův jev 1,2,3.
- 4. Pohyb elektrolytu protékaného proudem v magnetickém poli 1, 2, 3, 4.
- 5. Demontrace funkce primárního článku
- 6. Demontrace funkce sekundárního článku - Pb akumulátoru 1, 2, 3.
- 7. Demontrace termoelektrického jevu
- 8. Seebeckův koeficient a znaménková konvence Seebeckova koeficientu 1,2.
- 9. Zapojení termočlánku typu K pro měření teploty pomocí mikrovoltmetru a lázně s referenční teplotou 1,2.

Obsah

- 10. Peltiérův jev 1, 2, 3, 4, 5, 6.
- 11. Ampérův pokus 1, 2, 3, 4.
- 12. Určení polarity permanentního magnetu 1, 2.
- 13. Oerstedův pokus 1, 2.
- 14. Demontrace tvaru elektromagnetického pole v okolí proudovodičů 1, 2.
- 15. Demontrace zmagnetování magneticky tvrdé oceli 1, 2, 3, 4, 5, 6.
- 16. Hysterezní křivka feromagnetika 1, 2, 3.
- 17. Demontrace a přibližné určení Curieovy teploty vzorků Fe a Ni 1, 2, 3.

Tento materiál byl připraven v rámci projektu Zkvalitnění a inovace přípravy budoucích učitelů na MUNI (ZIP MUNI), reg. č. p.: CZ.02.3.68/0.0/0.0/19_068/0016170.

1. Demonstrace závislosti elektrického odporu polovodičů na teplotě.

- Sestavte experiment dle obrázku.
- Změřte elektrický odpor za pokojové teploty a po ohřátí vzorku.
- Teplotu 200 °C proudů vzduchu nelze překročit, protože by došlo k spálení izolace.

$$R = \rho \frac{l}{\pi r^2}$$

Kde

$$\rho_{Cu} = 0.0178 \Omega \text{ mm}^2 \text{ m}^{-1}$$

$$r = 0.03 \text{ mm}$$

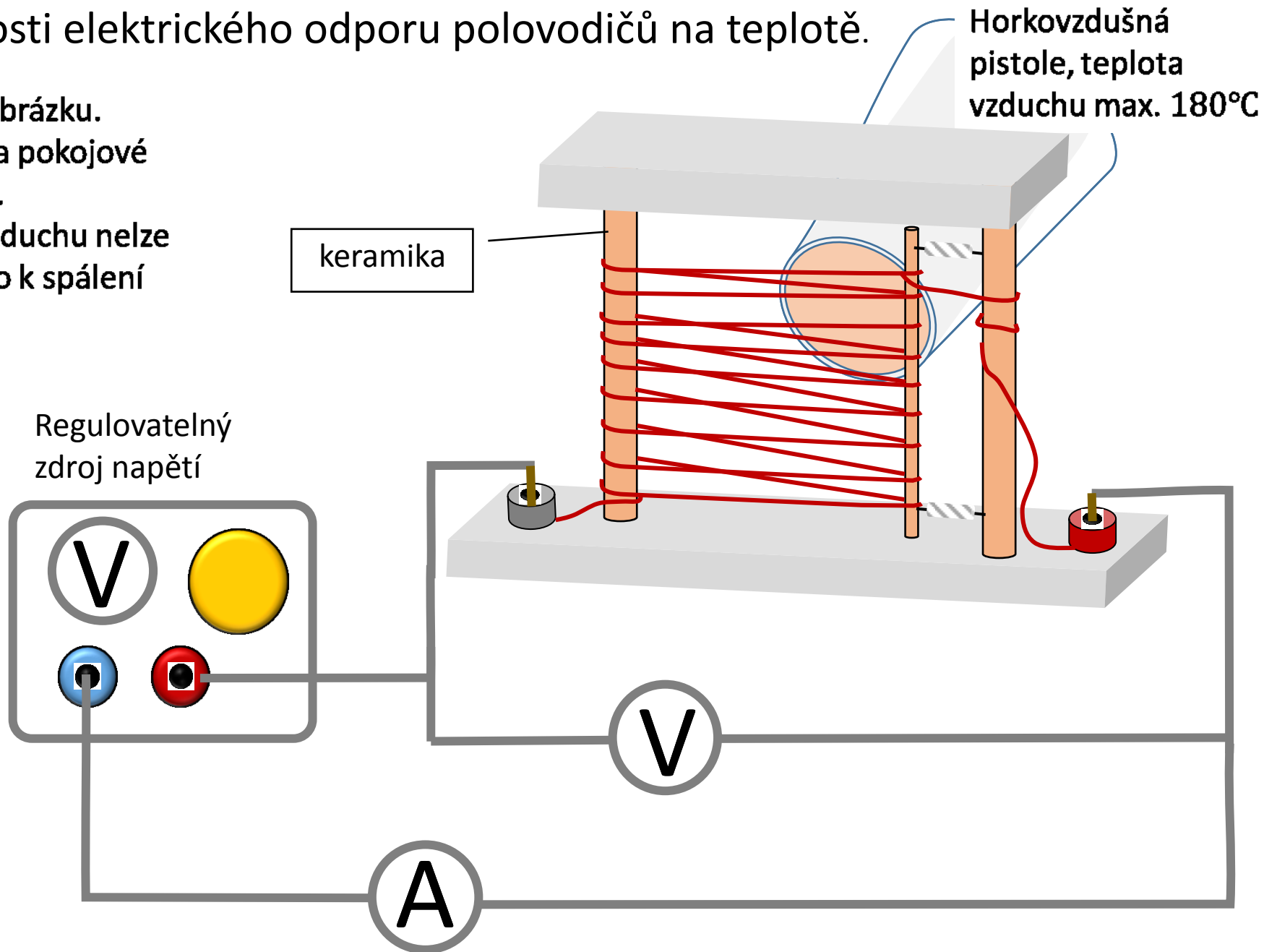
$$l = 1 \text{ m}$$

$$R = 6.295 \Omega$$

$$R(t) = R_0(1 + \alpha t)$$

Teplotní součinitel odporu

$$\alpha_{Cu} = 0.0042 \text{ K}^{-1}$$

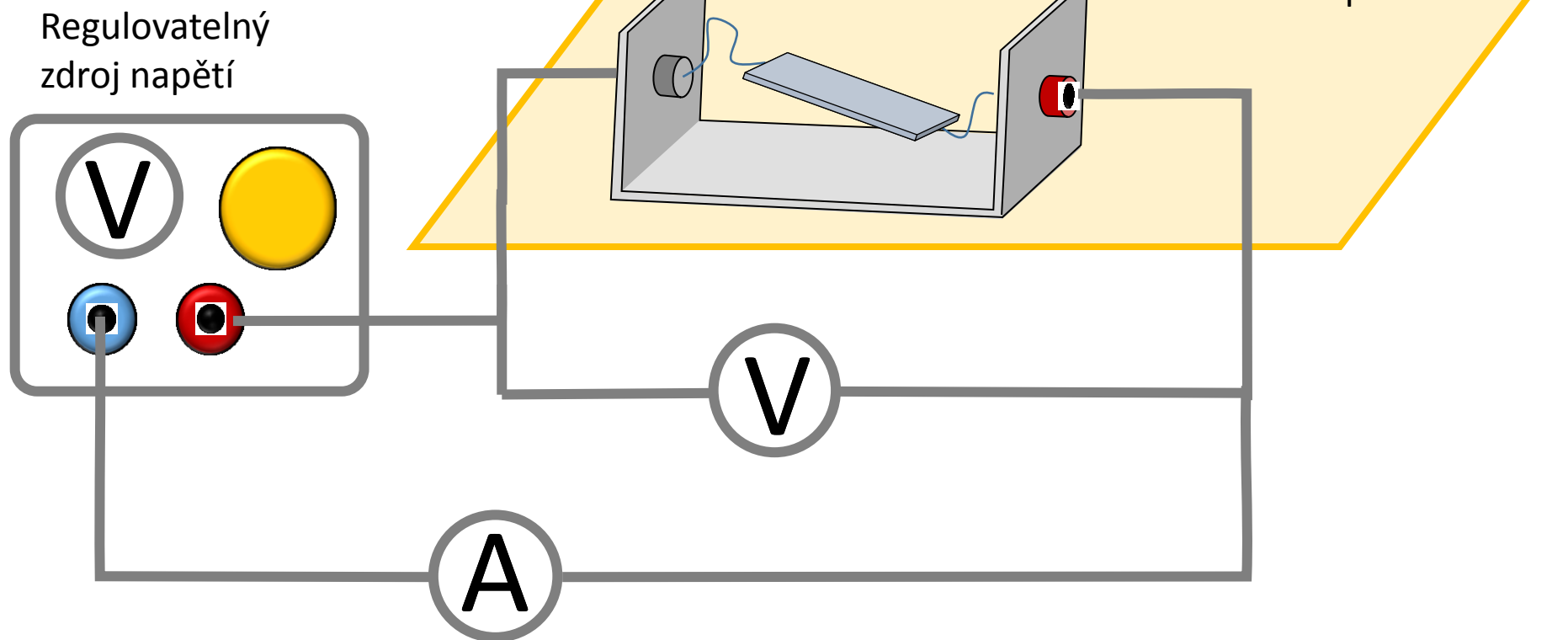


2. Demonstrace závislosti elektrického odporu polovodičů na teplotě.

Sestavte experiment dle obrázku.

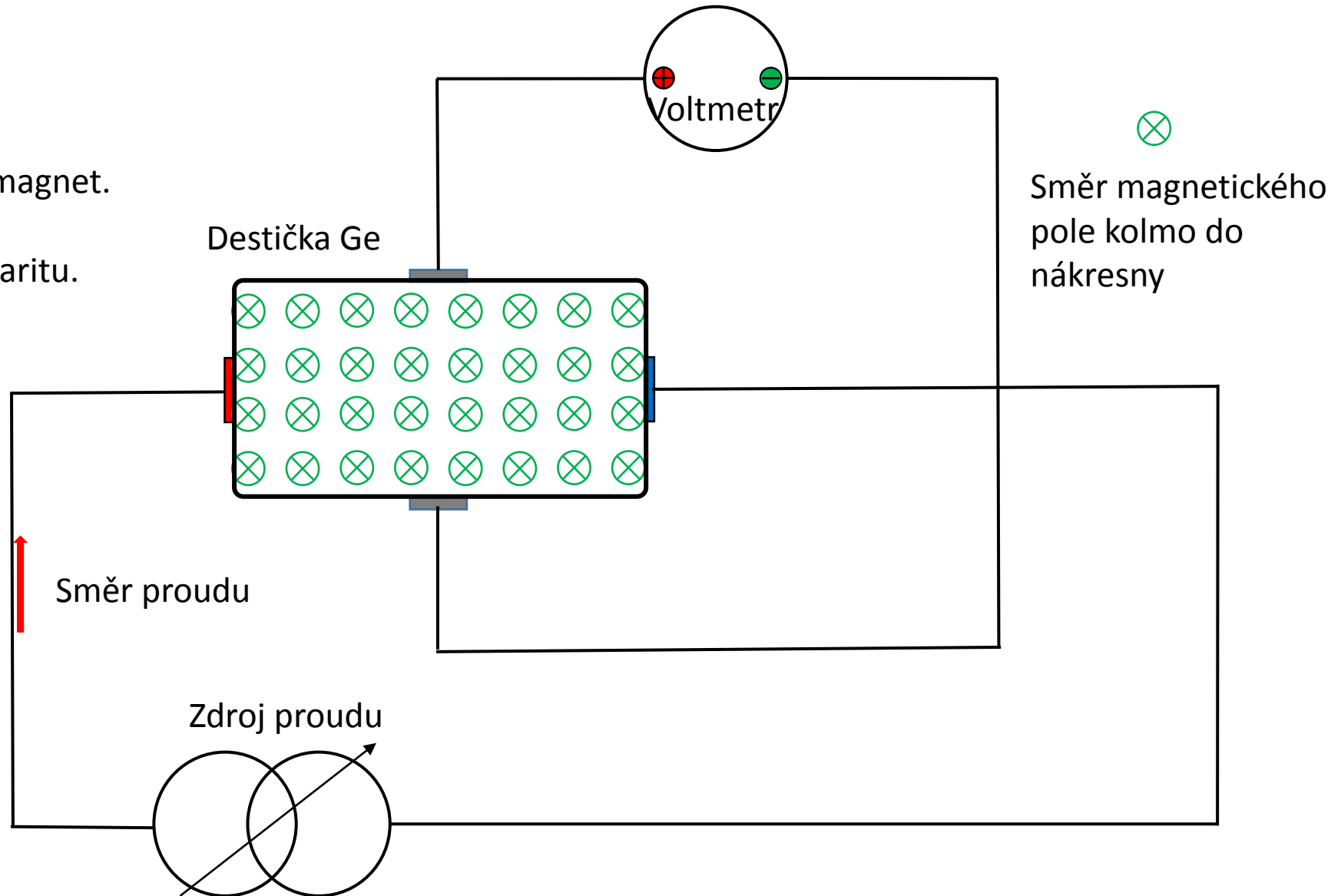
Změřte elektrický odpor za pokojové teploty a po ohřátí vzorku.

Teplotu 180 °C proudu vzduchu nelze překročit, protože by došlo k odpájení vzorku od přívodních vodičů. .

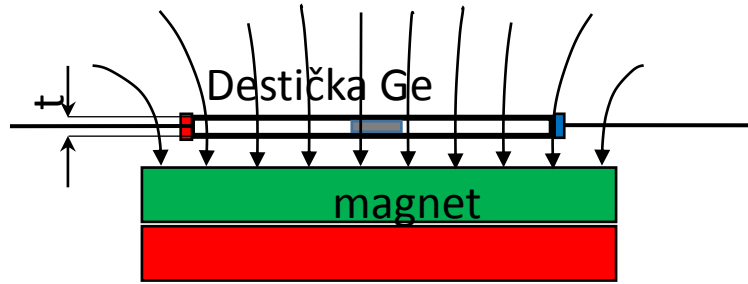


3. Hallův jev – experimentální uspořádání 1.

1. Sestavte obvod dle obrázku.
2. Pod vzorek vložte permanentní magnet.
3. Odečtěte napětí na voltmetru.
4. Obrácením magnetu změňte polaritu.
5. Odečtěte napětí na voltmetru.



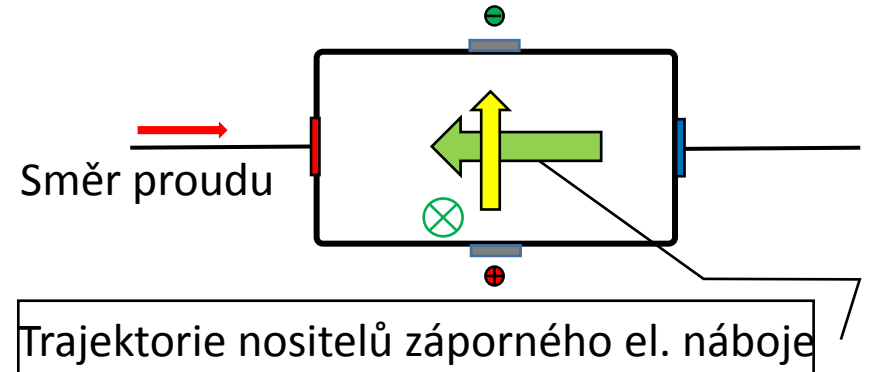
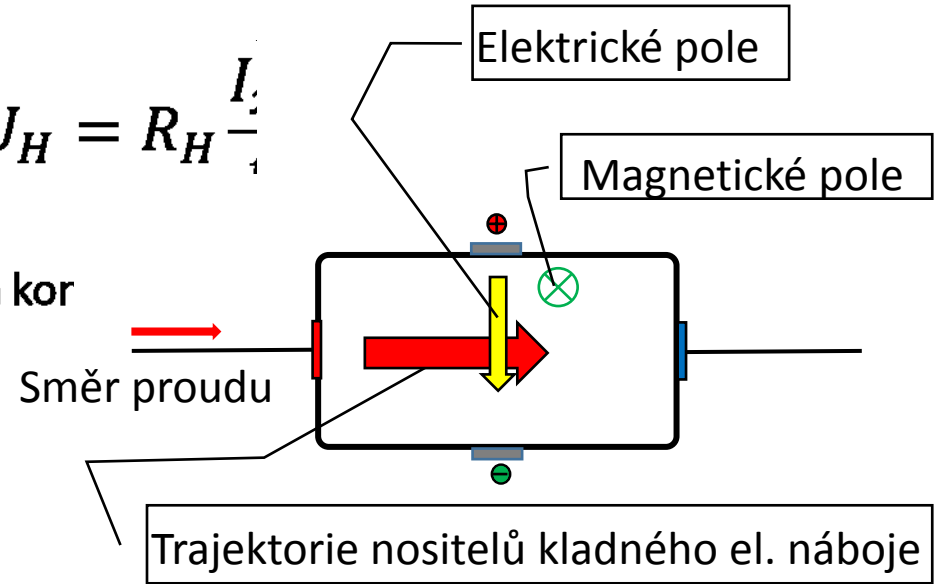
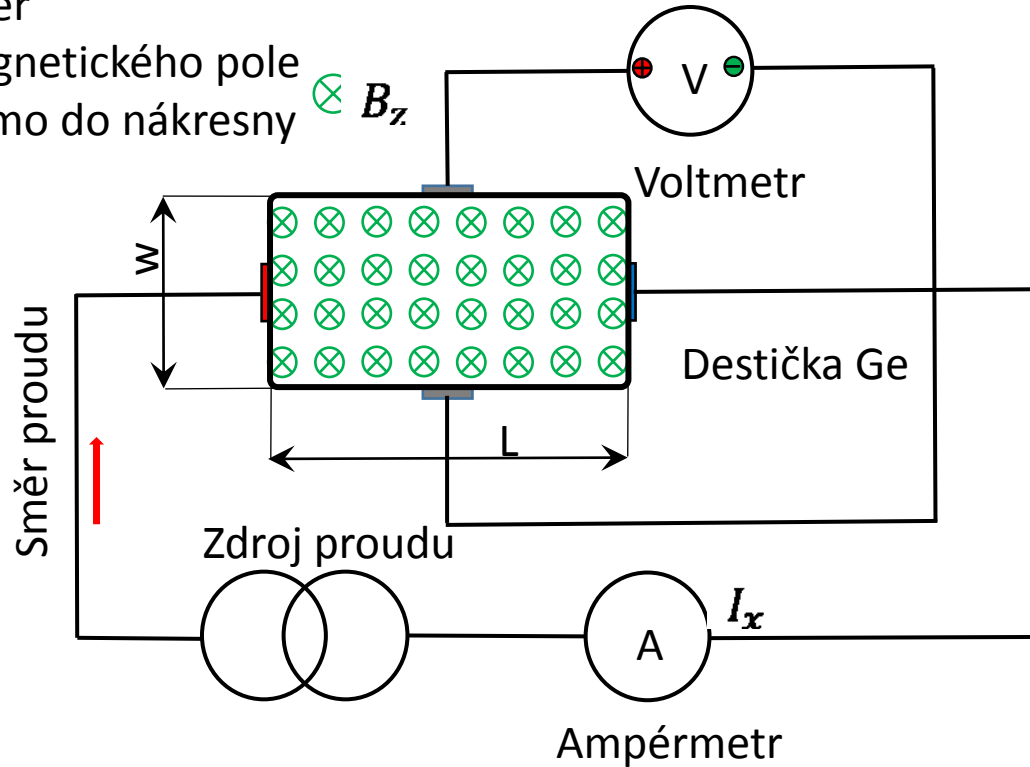
Hallův jev – experimentální uspořádání 2.



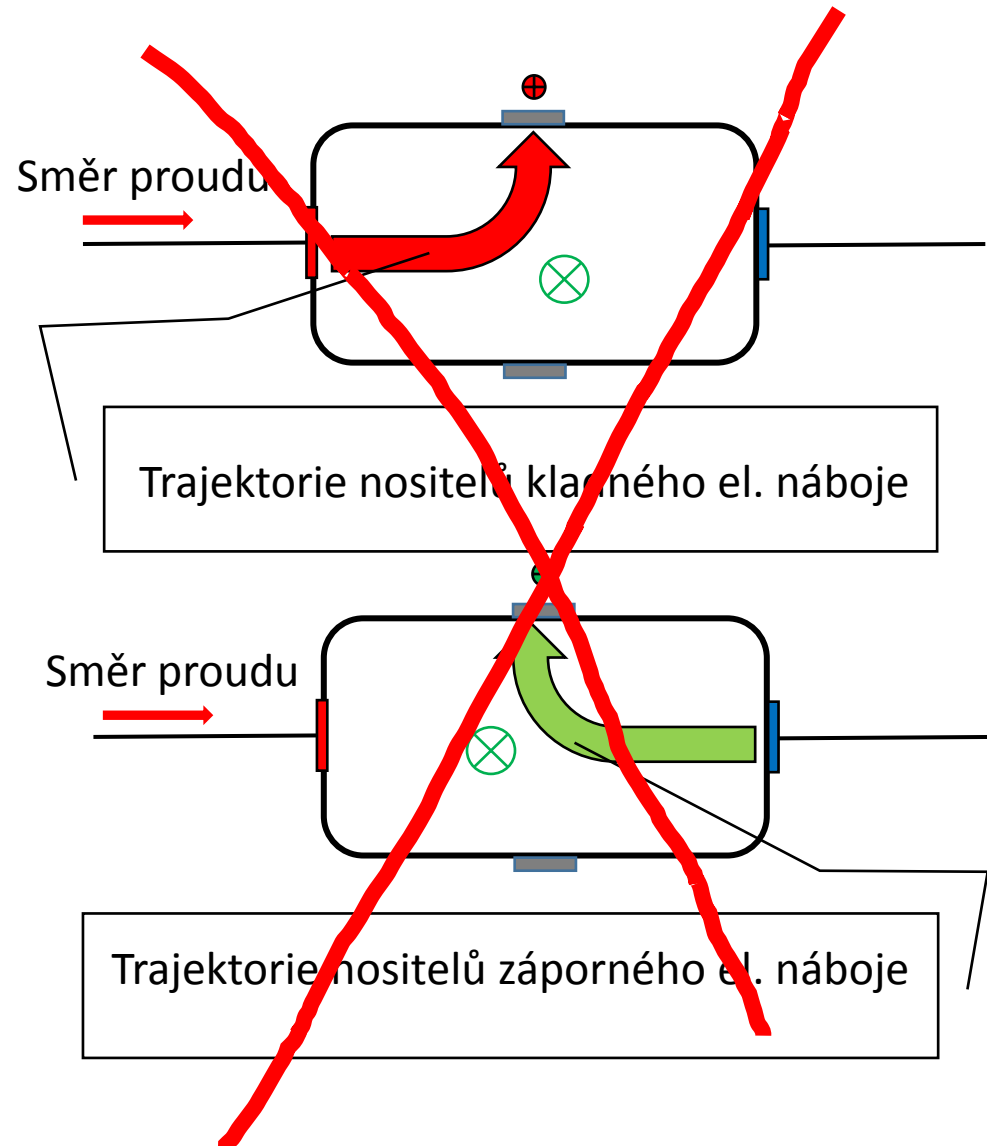
$$U_H = R_H \frac{I_x}{d}$$

Kde $R_H \text{ m}^3 \text{ A}^{-1} \text{ s}^{-1}$ je Hallova konstanta

Směr magnetického pole kolmo do nánkresny $\otimes B_z$



Hallův jev - chybný výklad 3.



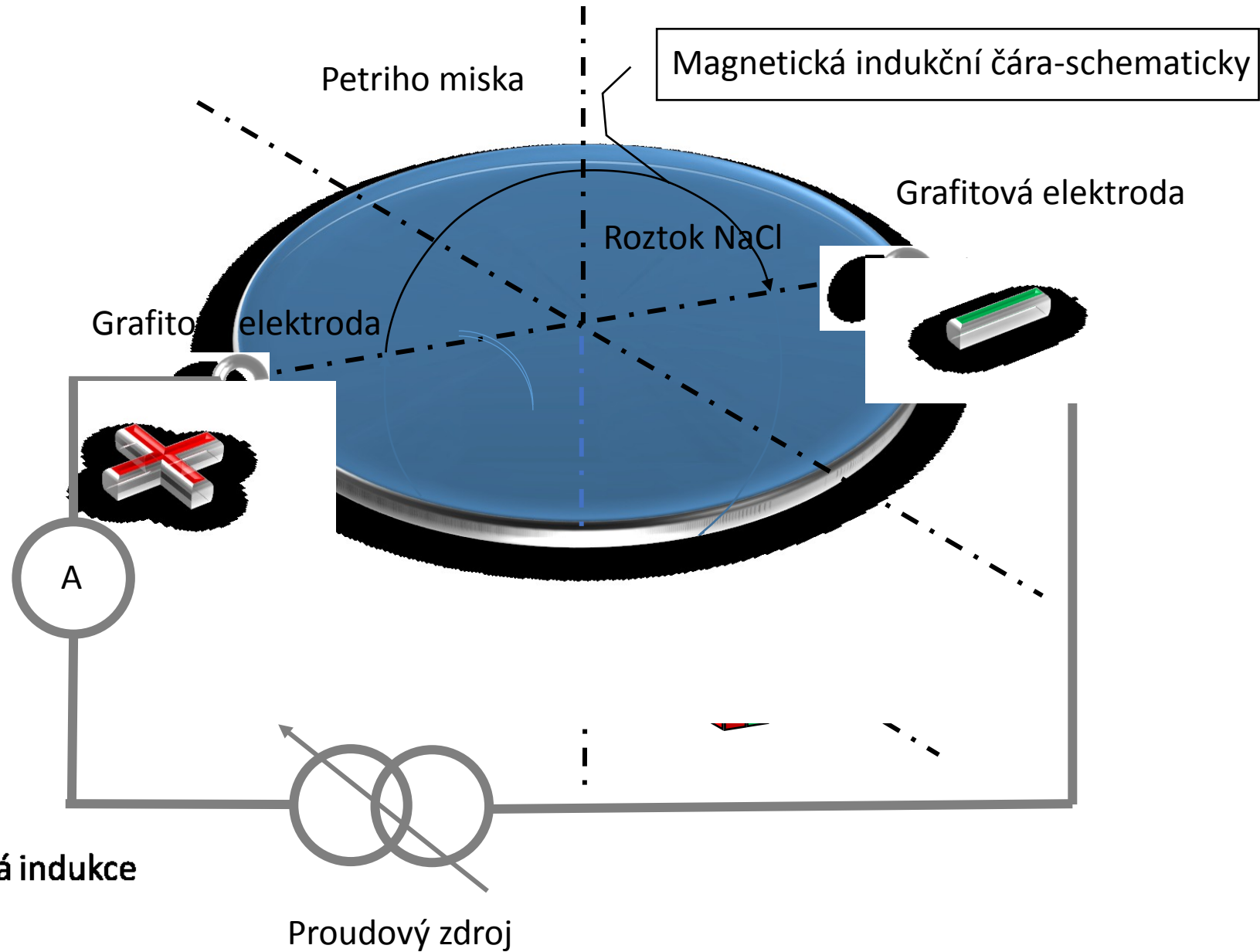
V rovnovážném stavu je Lorentzova síla rovna nule, tj. silový účinek magnetického pole je kompenzován silovým účinkem příčného elektrického pole.

4. Pohyb elektrolytu protékaného proudem v magnetickém poli 1.

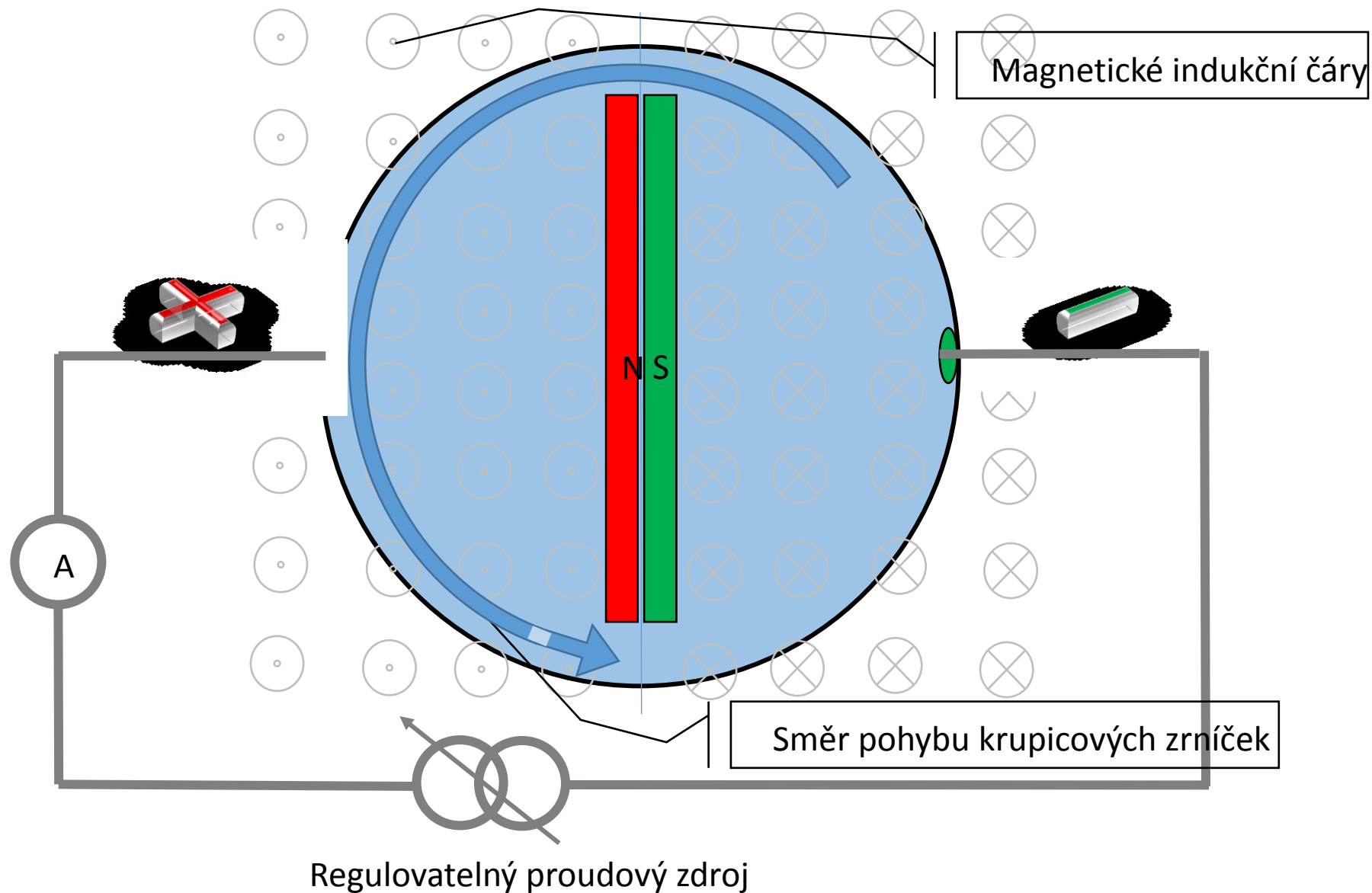
1. Nalejte do misky roztok 10N NaCl.
2. Zapojte elektrický obvod dle obrázku.
3. Umístěte permanentní magnet pod misku postupně oběma zakreslenými způsoby.
4. Posypte hladinu malým množstvím krupice.
5. Postupně zvyšujte elektrický proud dokud se nedá roztok do pohybu.
6. Pohyb lze kvalitativně vysvětlit objemovou hustotou magnetické složky Lorentzovy síly.

$$d\vec{F} = \vec{j} \times \vec{B} dV$$

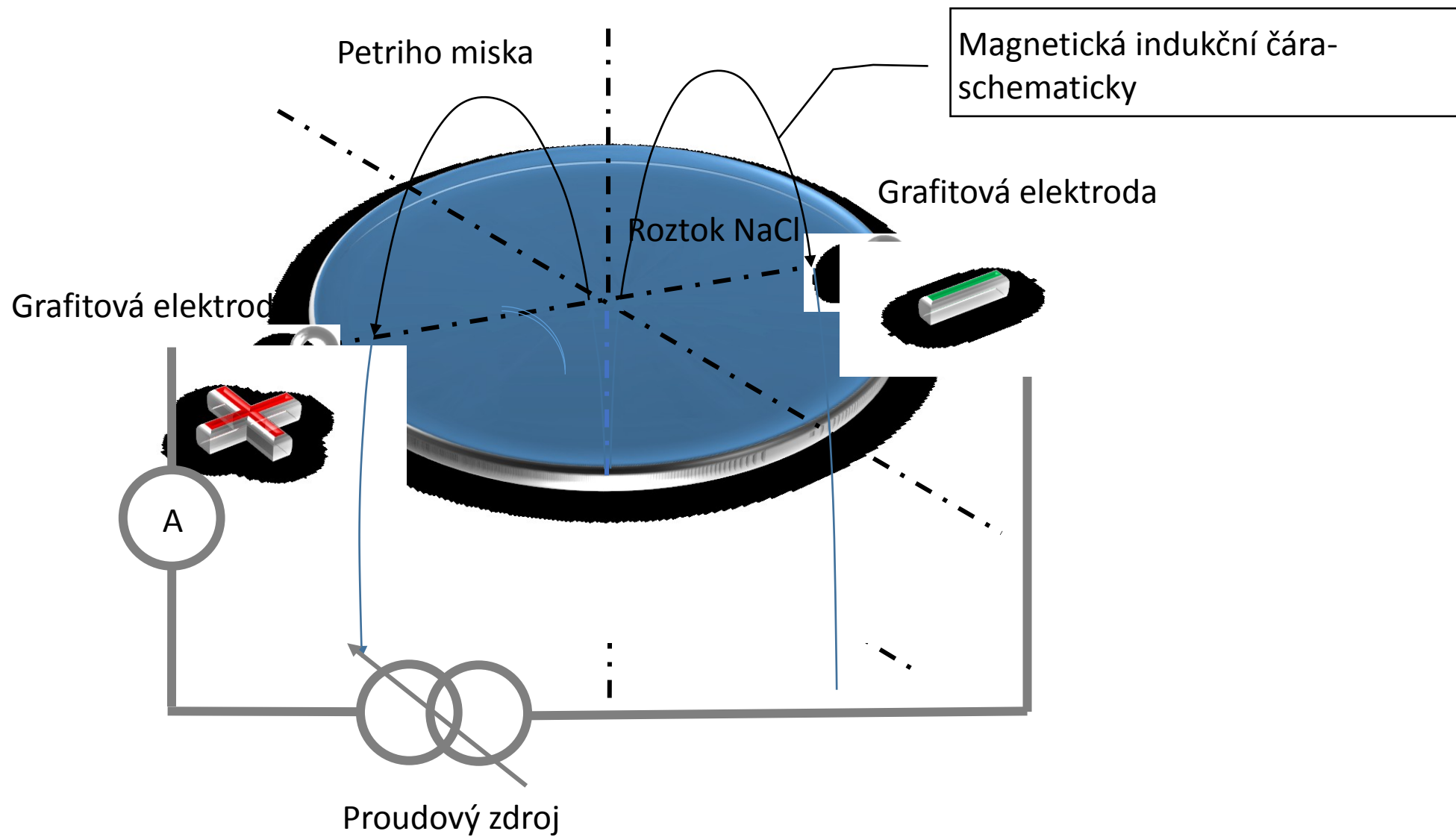
\vec{j} je proudová hustota, \vec{B} magnetická indukce



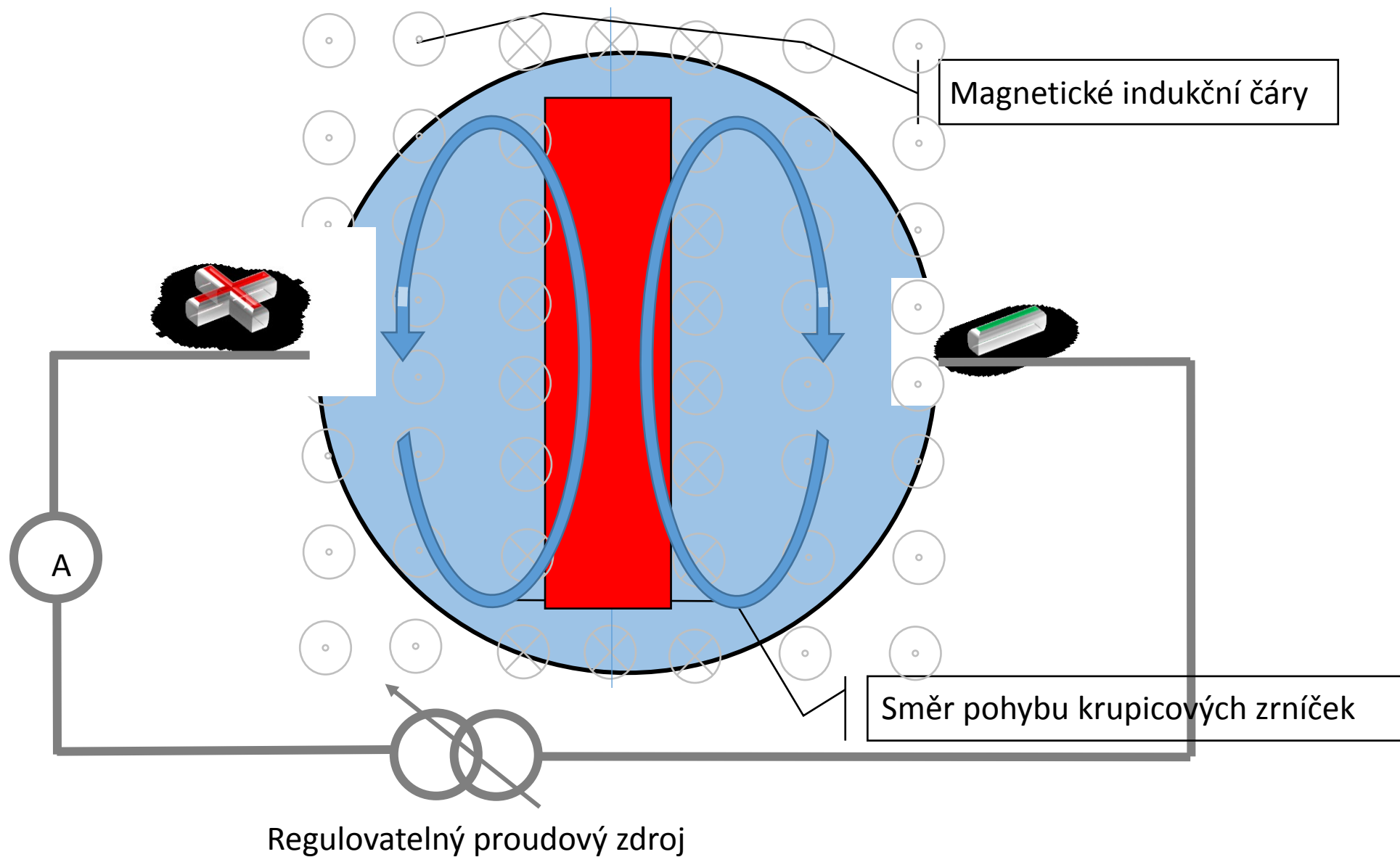
4. Pohyb elektrolytu protékaného proudem v magnetickém poli 2.



4. Pohyb elektrolytu protékaného proudem v magnetickém poli 3.



4. Pohyb elektrolytu protékaného proudem v magnetickém poli 4.



5. Demonstrace funkce primárního článku

Sestavte experiment podle obrázku.

Do plastové misky vložte měděnou a zinkovou destičku. Destičky vůči stěně zajistíte plastovým kolíčkem na prádlo.

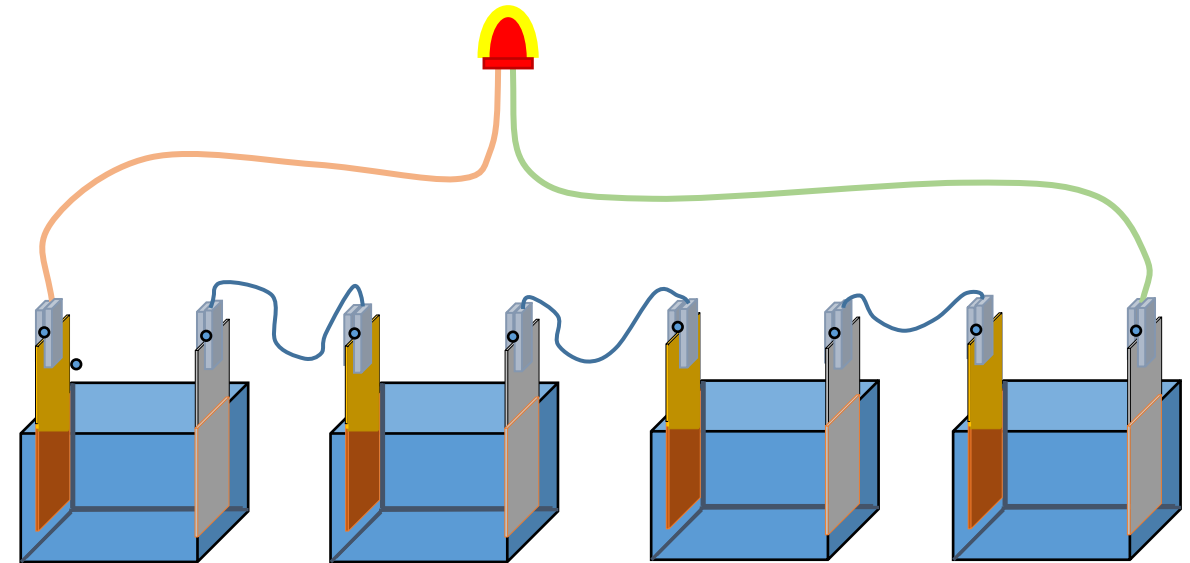
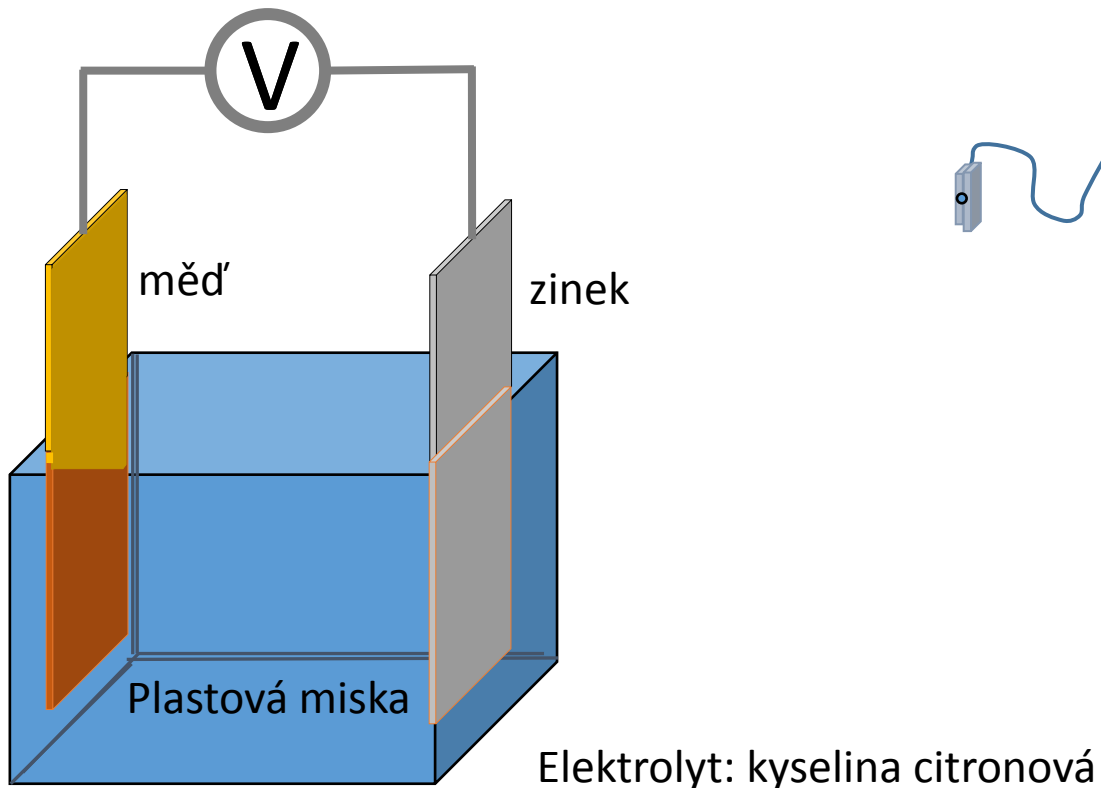
Do misky nalejte 10 % roztok kyseliny citronové (na koncentraci příliš nezáleží).

Připojte k elektrodám voltmetr a změřte napětí.

Sestavte čtyři samostatné články popsáním způsobem a zapojte do série.

K takto vytvořené baterii připojte červenou vysoce svítivou LED diodu. Napětí na baterii by měla stačit na její rozsvícení.

Pokud je čas, nechte sestavu svítit.



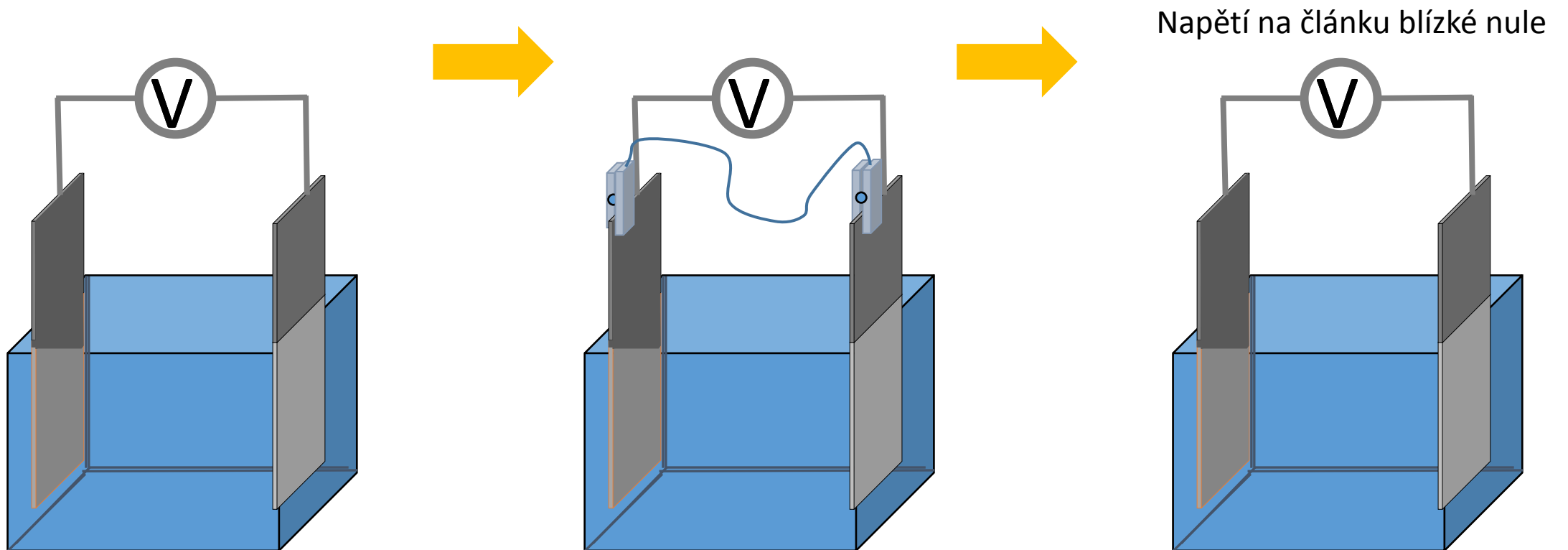
6. Demonstrace funkce sekundárního článku - Pb akumulátoru 1.

Sestavte experiment podle obrázku.

Do plastové nádoby vložte dvě olovené destičky které zajistíte vůči stěně plastovým kolíčkem na prádlo.

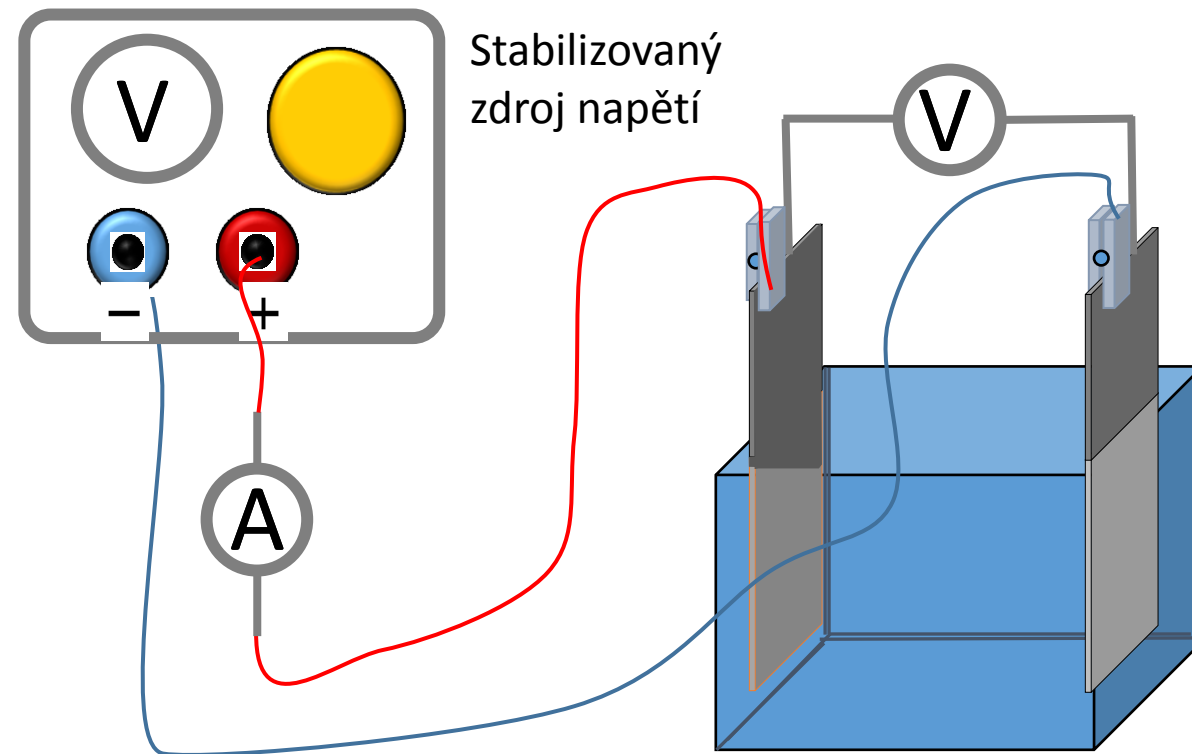
Do nádoby nalejte 10 % roztok kyseliny sírové tj. cca 1/3 koncentrace akumulátorové kyseliny.

Připojte k elektrodám voltmetr a elektrody zkratujte. V tomto stavu ponechte baterii do té doby, než je zcela vybitá.



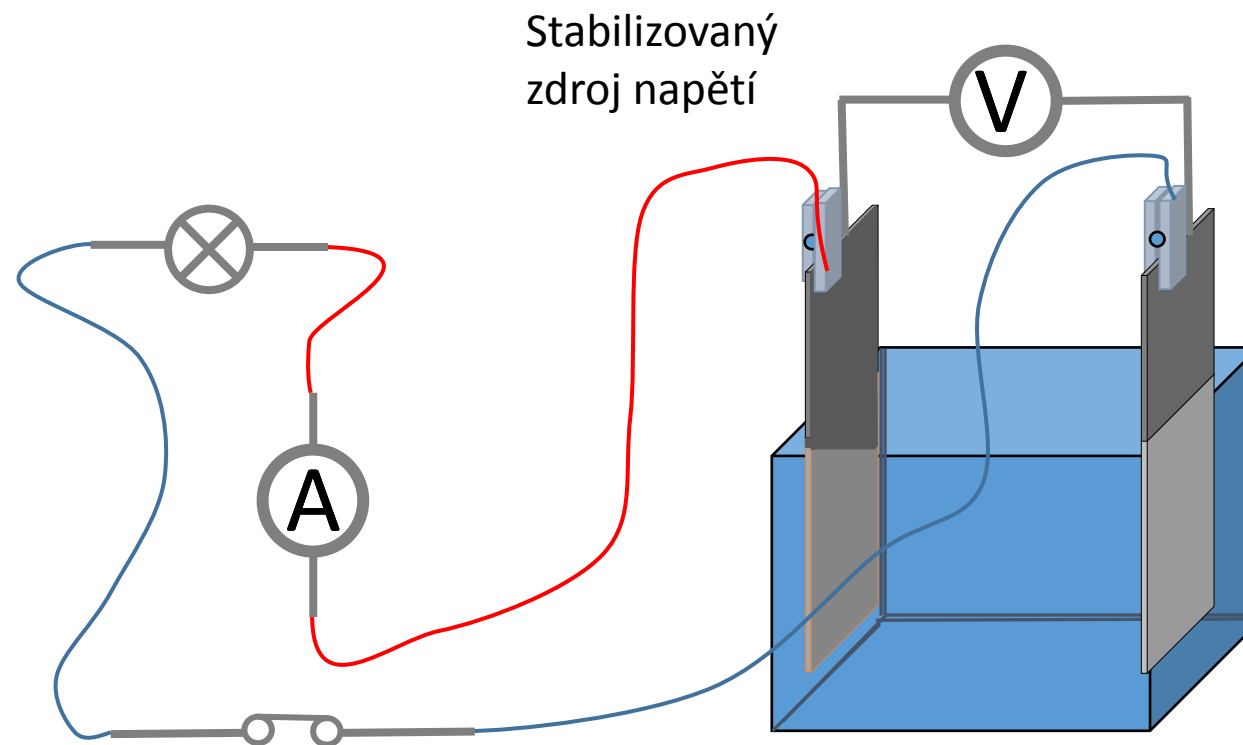
6. Demonstrace funkce sekundárního článku - Pb akumulátoru 2.

Zcela vybitou baterii připojte ke zdroji stejnosměrného napětí podle obrázku. Zvyšujte připojené napětí až k hodnotě, kdy ampérmetr zaznamená nárůst nabíjecího proudu. Pozor na plynování na elektrodách, které generuje aerosol roztoku kyseliny sírové, dráždící sliznici horních cest dýchacích.



6. Demonstrace funkce sekundárního článku - Pb akumulátoru 3.

Po několika minutách nabíjení odpojte nabíjecí zdroj a elektrochemický článek připojte přes vypínač k 1.5 až 3 V žárovce.

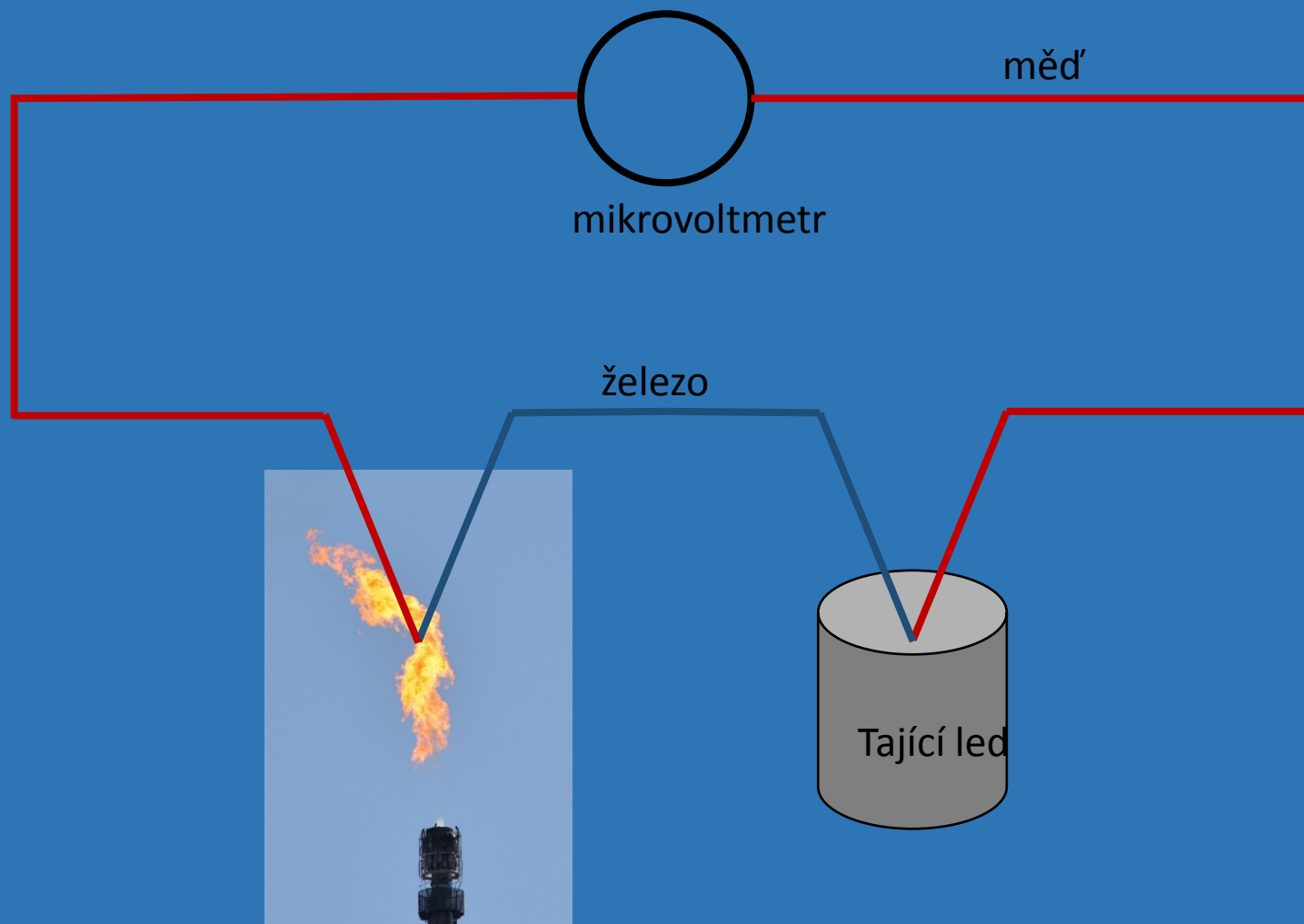


7. Demonstrace termoelektrického jevu

Úkoly:

1. Zapojte elektrický obvod s termočlánkem železo měď podle obrázku.
2. Změřte teplotu lihového plamene elektrickým termočlánkovým teploměrem.
3. Vložte jeden spoj termočlánku do tajícího ledu a druhý ohřejte lihovým plamenem, jehož teplota byla změřena.
4. Odečtěte termoelektrické napětí.
5. Porovnejte naměřené napětí s teoreticky předpovězenou hodnotou dle tabelovaných Seebeckových koeficientů pro Cu a Fe.

Relativní (vůči Pt) Seebeckův koeficient při pokojové teplotě pro Fe je $19 \mu V/K$ a pro Cu je $6,5 \mu V/K$.



8. Seebeckův koeficient a znaménková konvence Seebeckova koeficientu 1.

Pro proudovou hustotu platí: $\vec{j} = -\sigma \vec{\nabla}V - \sigma S \vec{\nabla}T$

Kde \vec{j} je proudová hustota, σ elektrická vodivost, S Seebeckův koeficient, T absolutní termodynamická teplota, V elektrické napětí

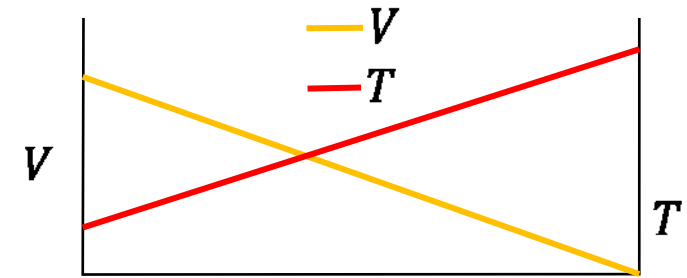
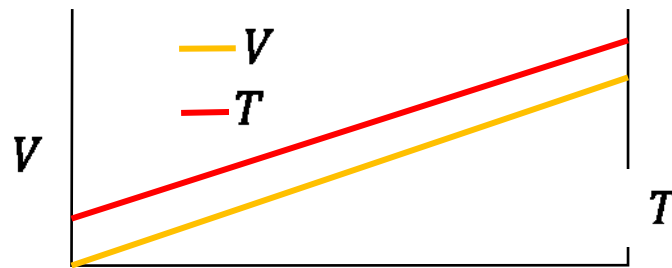
Pro $\vec{j} = 0$

pak $\vec{\nabla}V = -S \vec{\nabla}T, \quad -\vec{\nabla}V = \vec{E}$

$\vec{E} = S \vec{\nabla}T$

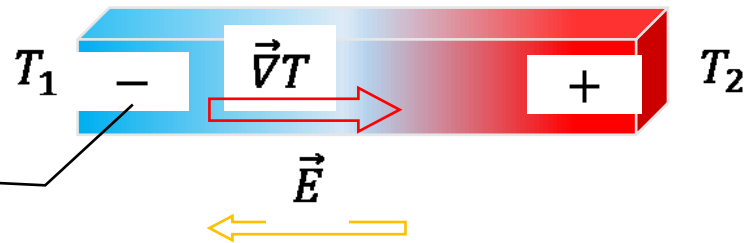
Za předpokladu, že S nezávisí na teplotě $(V_2 - V_1) = -S(T_2 - T_1)$

Rozložení teploty a napětí na vzorku se Seebeckovým koeficientem záporným a kladným, schematicky.



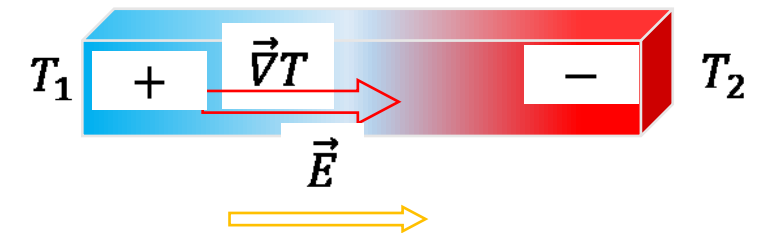
Vzorek elektricky vodivého materiálu

$S < 0$



Znaménko elektrické ho náboje

$S > 0$



Pro polovodič typu n $S < 0$

Pro kovy může být $S > 0$ i $S < 0$

Pro polovodič typu p $S > 0$

8. Seebeckův koeficient a znaménková konvence Seebeckova koeficientu 2.

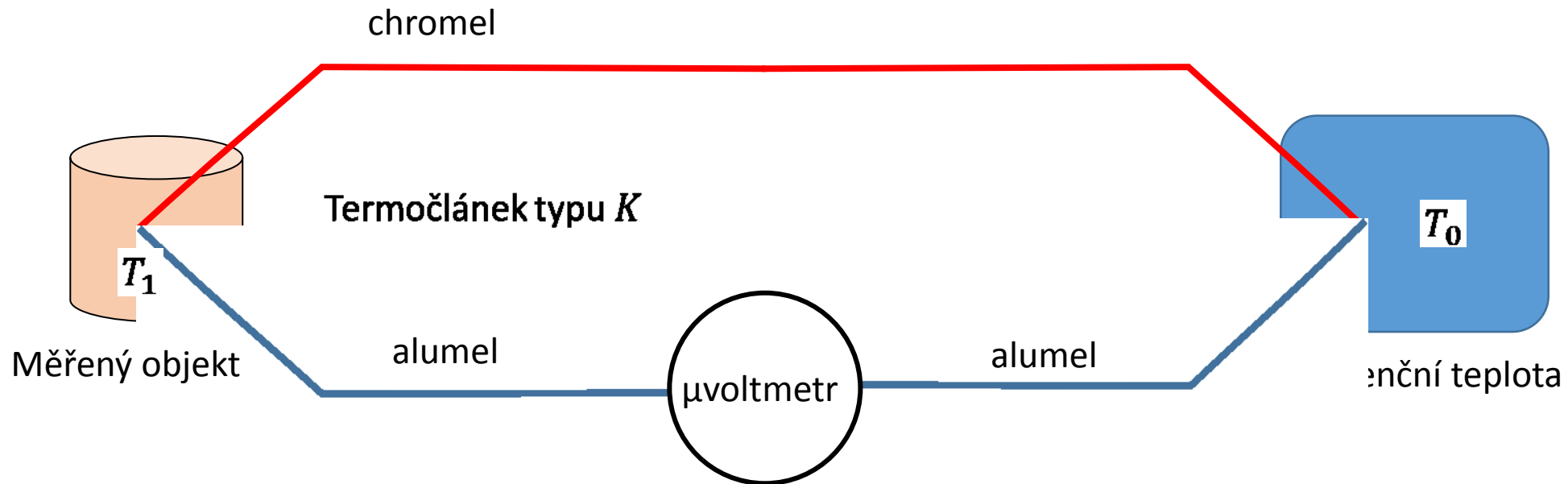
Tabulka relativního Seebeckova koeficientu různých materiálů vzhledem k platině při pokojové teplotě.

	$\mu V/K$		$\mu V/K$
Antimon	47	Platina	0 (z definice)
Nichrom	25	Sodík	-2
Molybden	10	Draslík	-9
Kadmium	7,5	Nikl	-15
Wolfram	7,5	Konstantan	-35
Zlato	6,5	Bismut	-72
Stříbro	6,5	Selen	900
Měď	6,5	Tellur	500
Rhodium	6	Křemík	440
Tantal	4,5	Germanium	330
Olovo	4	n-typ Bi_2Te_3	-230
Hliník	3,5	p-typ $\text{Bi}_{2x}\text{Sb}_x\text{Te}_3$	300
Uhlík	3	p-typ Sb_2Te_3	185
Rtuť	0,6	železo	19

9. Zapojení termočlánu typu K pro měření teploty pomocí mikrovoltmetru a lázni s referenční teplotou 1.

Zapojení termočlánu typu K pro měření teploty pomocí mikrovoltmetru. Termoelektrický koeficient termočlánu typu K závisí mírně na teplotě. Pro teplotu 0 – 100 °C činí $\alpha = 40\mu V/K$.

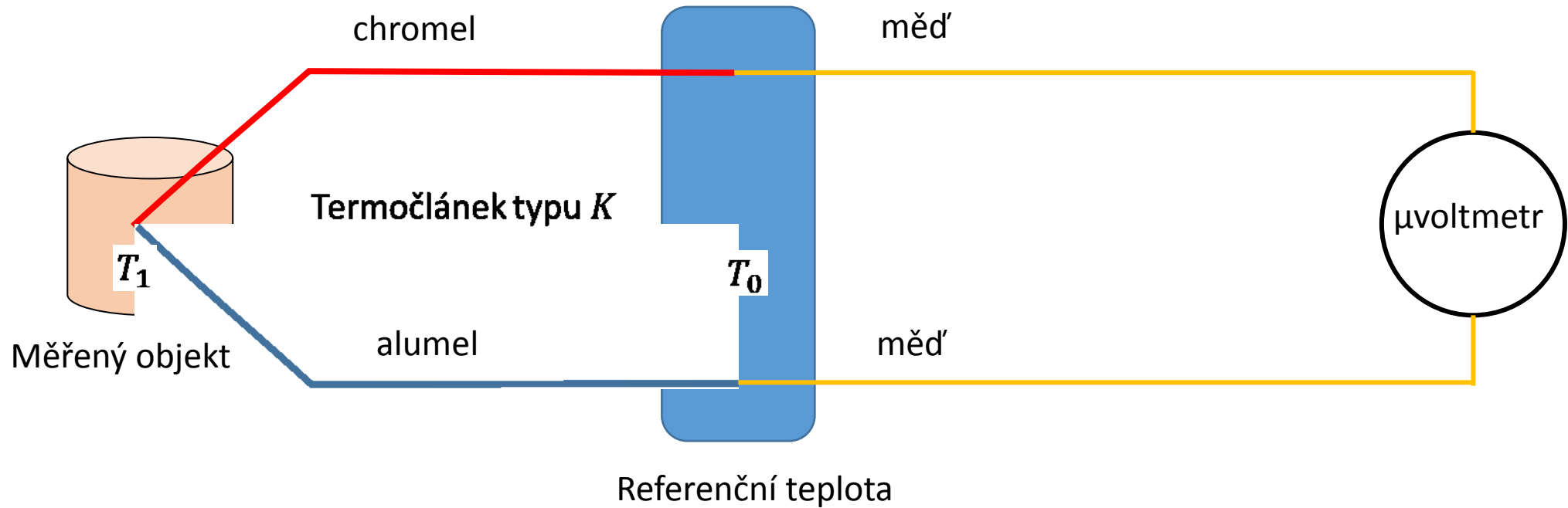
$$U = \alpha(T_1 - T_0)$$



9. Zapojení termočlánu typu K pro měření teploty pomocí mikrovoltmetru a lázni s referenční teplotou 2.

Zapojení termočlánu typu K s prodlužovacími vodiči pro měření teploty pomocí mikrovoltmetru a lázni s referenční teplotou.

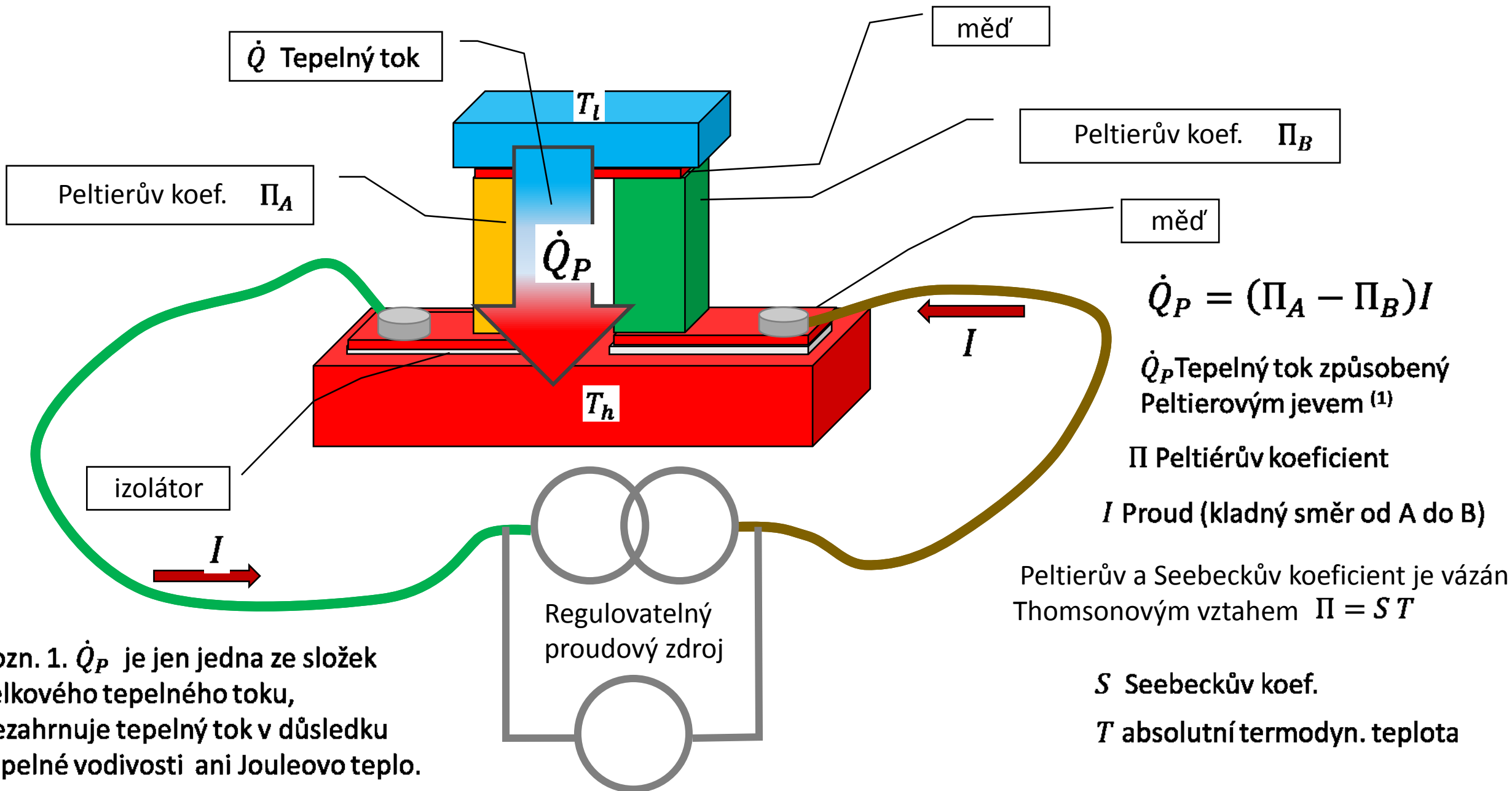
$$U = \alpha(T_1 - T_0)$$



Termočlánek typu K

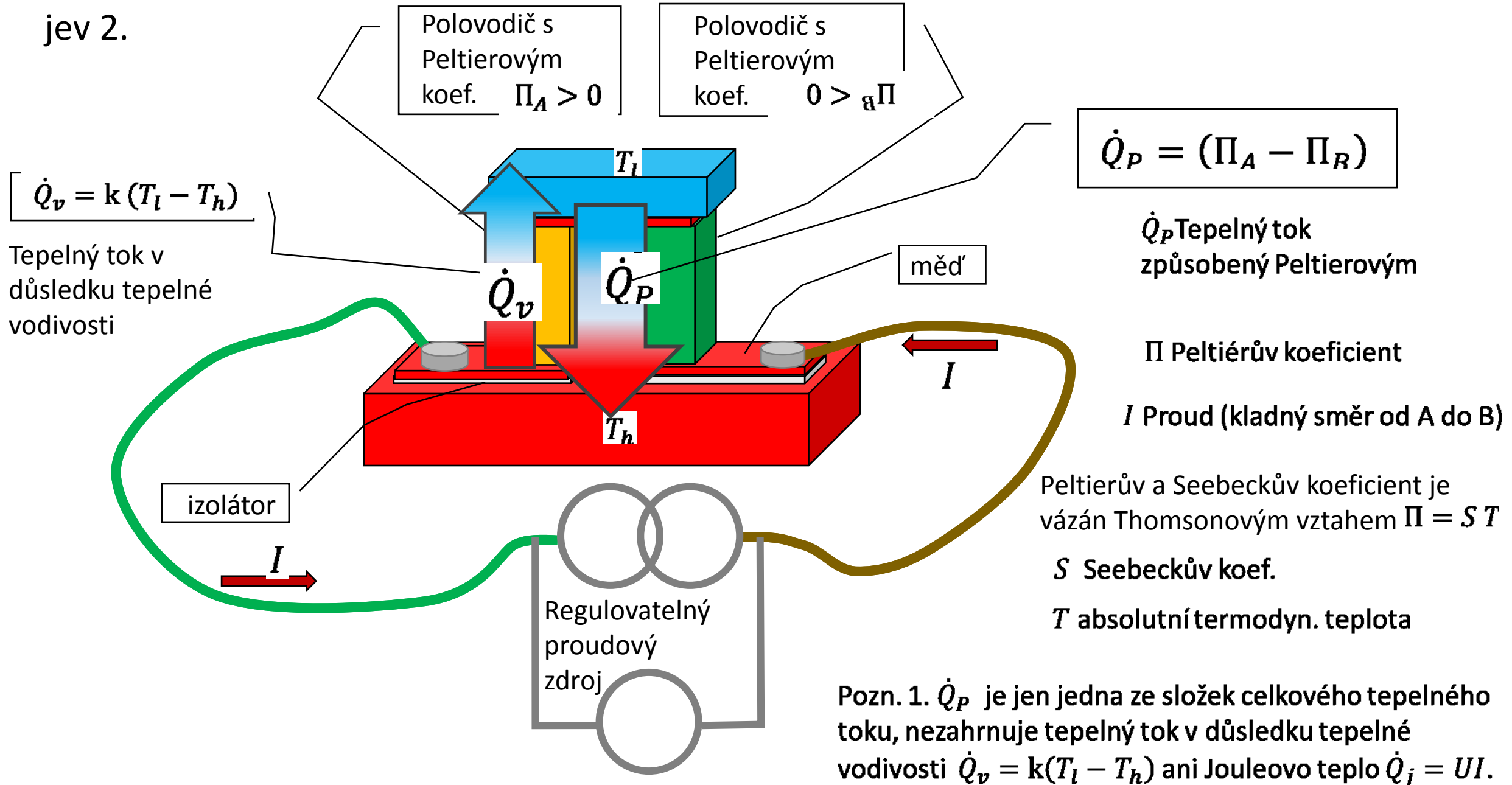
	Chromel Ni, 90%, Cr 10%	Alumel (95% Ni, 2% Al, 2% Mn, 1% Si)
koeficient	0.00032 K ⁻¹	0.00239 K ⁻¹
Resistivita	0.706 μΩ m	0.294 μΩ m
Youngův modul	186 GPa	-
Pevnost v tahu	620-780 MPa	620-780 MPa
hustota	8.5 g ccm	8.61 g ccm
Bod tání	1420 °C	1399 °C
Koeficient délkové roztažnosti	12.8 10 ⁻⁶ 20-1000 °C	12.0 10 ⁻⁶ 20-1000 °C
Maximální teplota ve vzduchu	1100 °C	-
Tepelná vodivost	19 W m ⁻¹ K ⁻¹ at 23 °C	29.7 W m ⁻¹ K ⁻¹ at 23 °C
Curieova teplota	nemagnetický	152 -180 °C

10. Peltierův jev 1.



Pozn. 1. \dot{Q}_P je jen jedna ze složek celkového tepelného toku, nezahrnuje tepelný tok v důsledku tepelné vodivosti ani Jouleovo teplo.

10. Peltierův jev 2.



$$\dot{Q}_v = k(T_l - T_h)$$

Tepelný tok v důsledku tepelné vodivosti

$$\dot{Q}_P = (\Pi_A - \Pi_R) I$$

\dot{Q}_P Tepelný tok způsobený Peltierovým jevem

Π Peltierův koeficient

I Proud (kladný směr od A do B)

Peltierův a Seebeckův koeficient je vázán Thomsonovým vztahem $\Pi = S T$

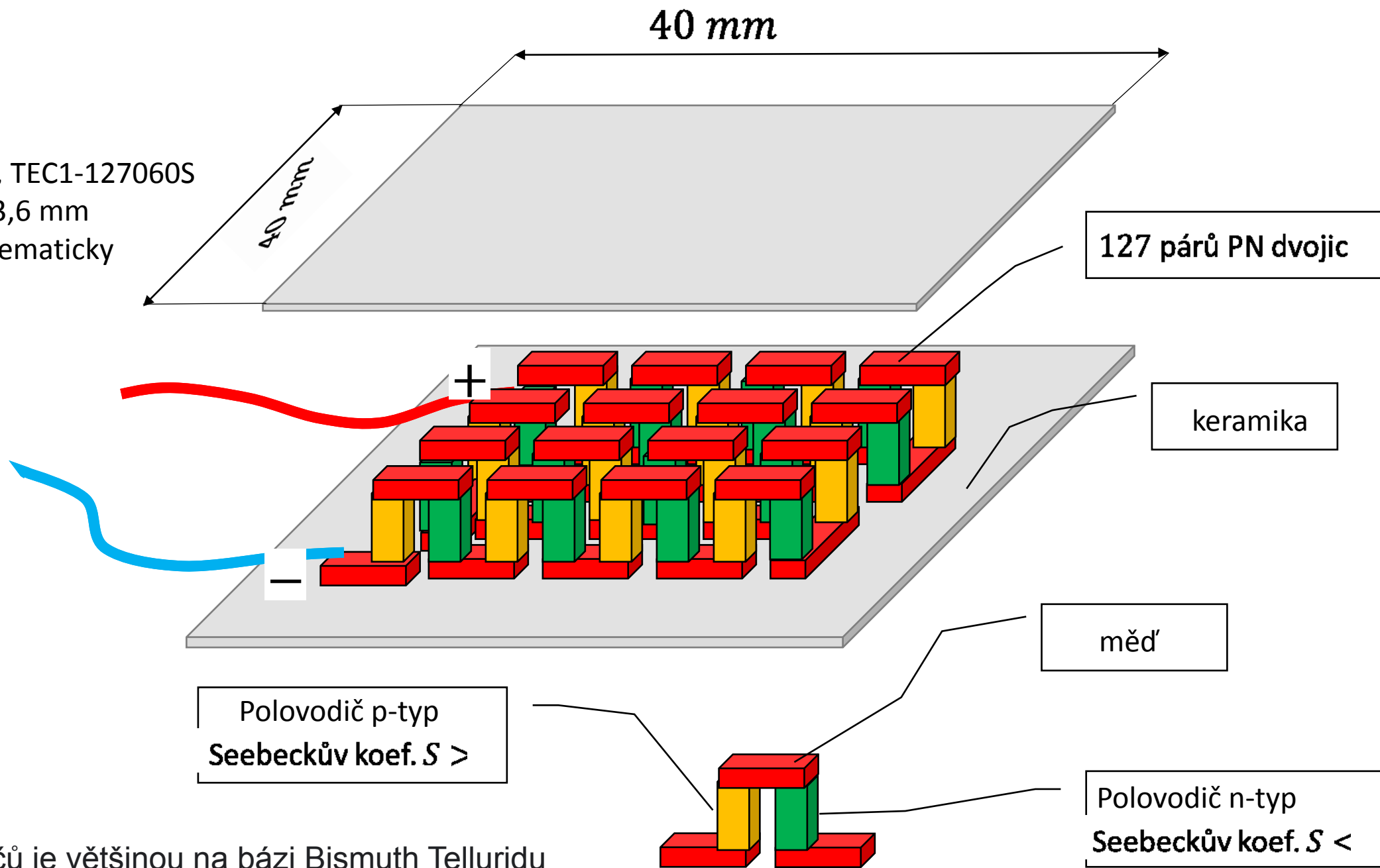
S Seebeckův koef.

T absolutní termodyn. teplota

Pozn. 1. \dot{Q}_P je jen jedna ze složek celkového tepelného toku, nezahrnuje tepelný tok v důsledku tepelné vodivosti $\dot{Q}_v = k(T_l - T_h)$ ani Jouleovo teplo $\dot{Q}_j = UI$.

10. Peltierův jev 3.

Peltierův článek, TEC1-127060S
40x40 mm, síla 3,6 mm
konstrukce - schematicky

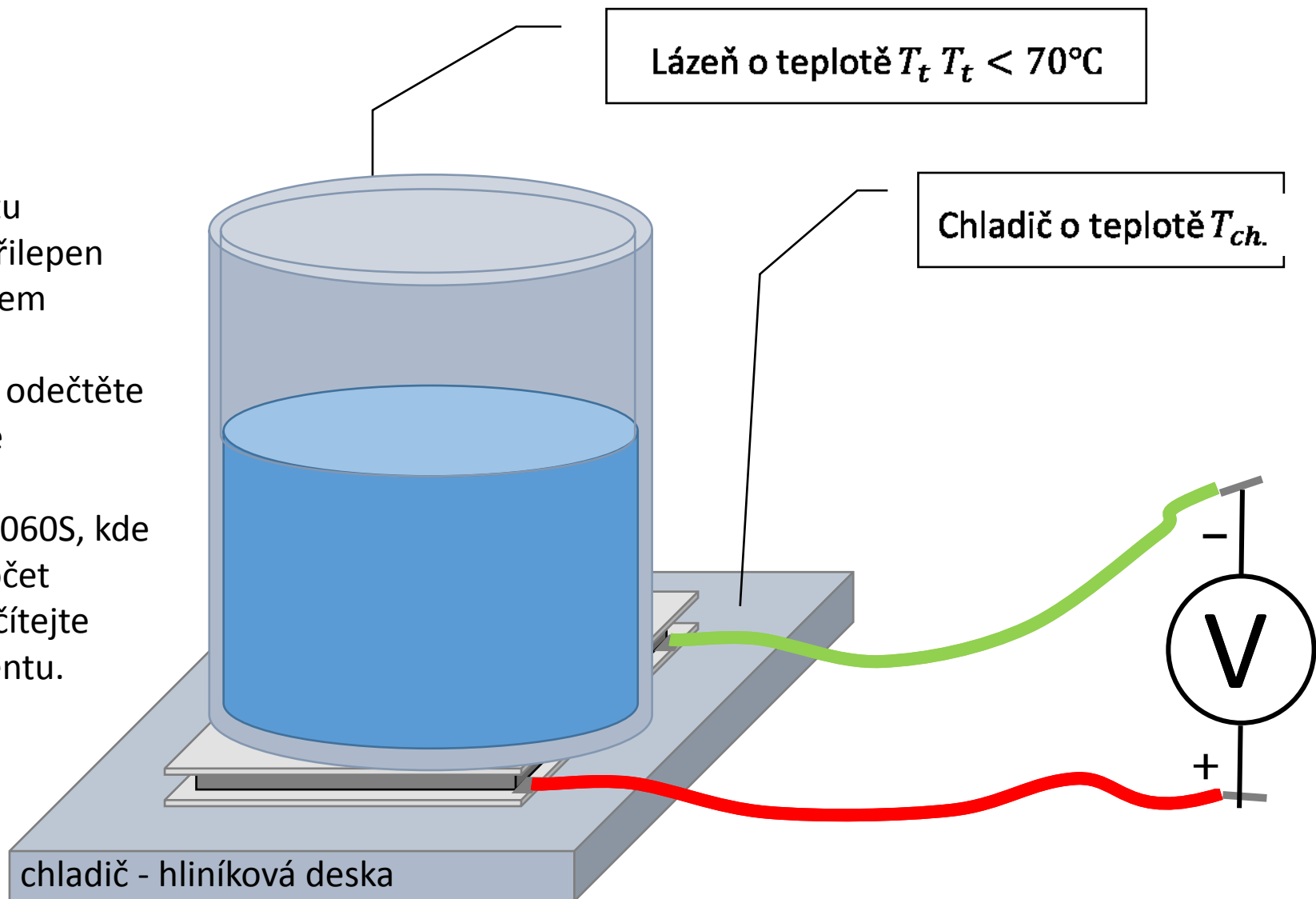


10. Peltierův jev 4.

Peltierův článek, TEC1-127060S

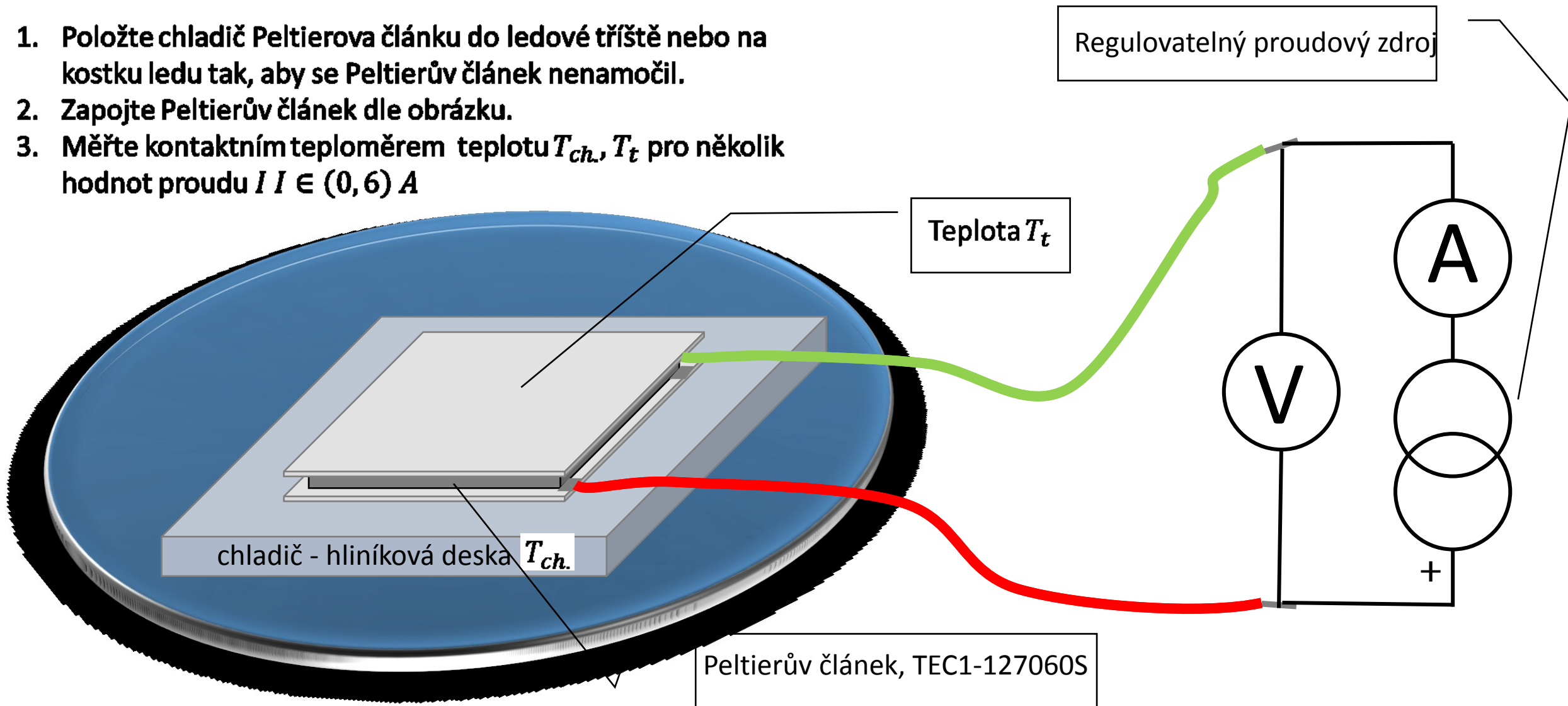
Úkoly

1. Změřte **kontaktním** teploměrem teplotu chladiče- hliníkové desky, na které je přilepen Peltierův článek a **ponorným** teploměrem teplotu lázně v kádince.
2. Kádinku postavte na Peltierův článek a odečtěte maximální napětí na voltmetru (včetně polarity).
3. Z informace na štítku článku TEC1-**127060S**, kde barevně označené číslo představuje počet segmentů páru polovodičů p a n. spočítejte Seebeckův koeficient S jednoho segmentu.



10. Peltierův jev 5.

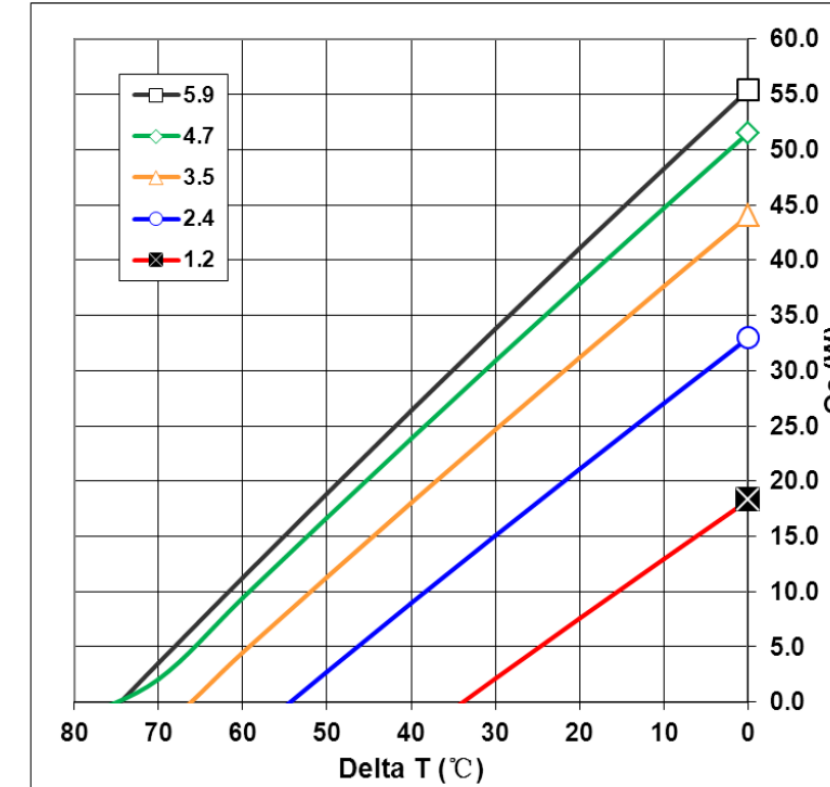
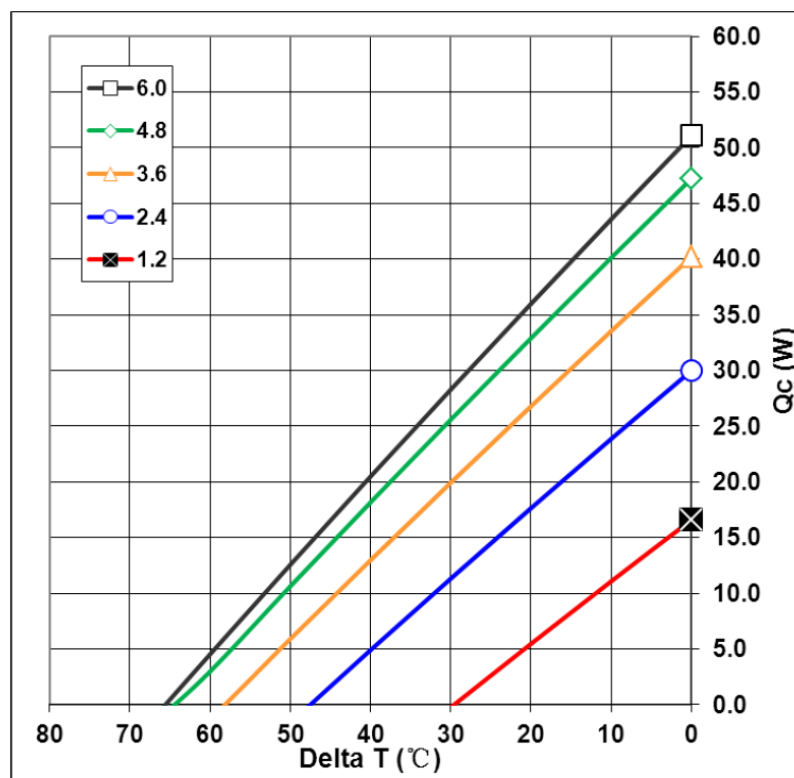
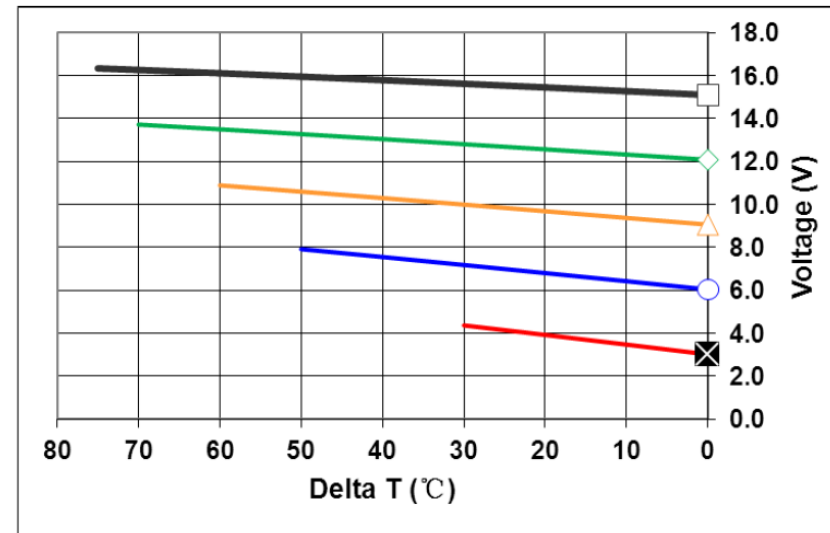
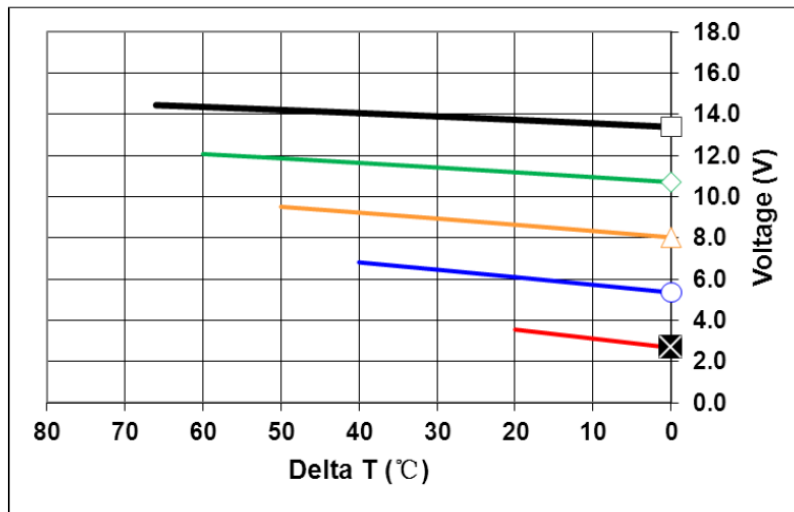
1. Položte chladič Peltierova článku do ledové tříště nebo na kostku ledu tak, aby se Peltierův článek nenamočil.
2. Zapojte Peltierův článek dle obrázku.
3. Měřte kontaktním teploměrem teplotu $T_{ch.}$, T_t pro několik hodnot proudu $I \in (0, 6) A$



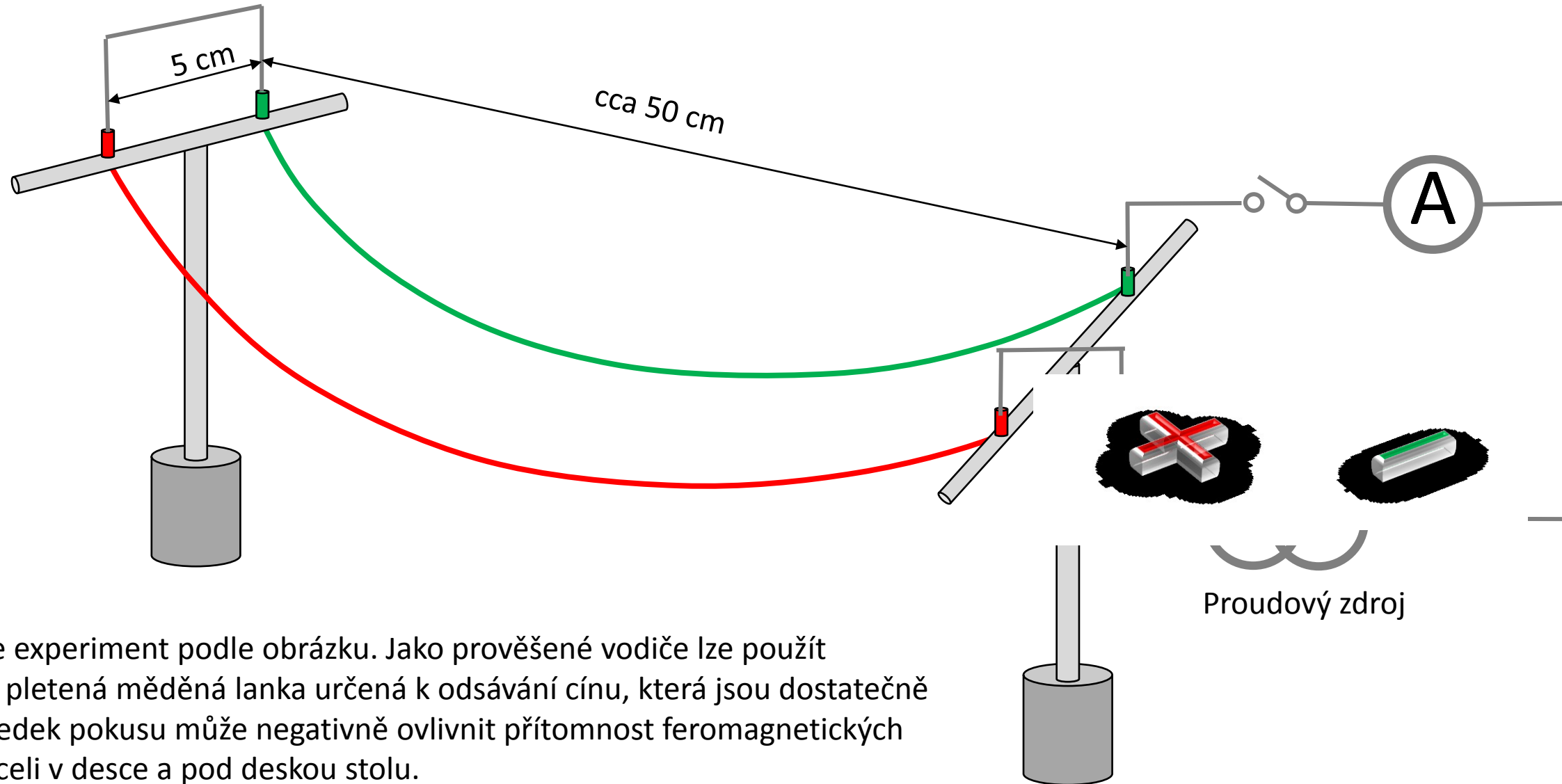
10. Peltierův jev 6.

Peltierův článek, TEC1-127060S

Hot Side Temperature(°C)	25 °C	50 °C
Qmax (Watts)	51.4	55
Delta Tmax(°C)	67	75
I _{max} (Amps)	6	6
V _{max} (Volts)	15.4	16.4
ModuleResistance(Ohms)	2.25	2.54

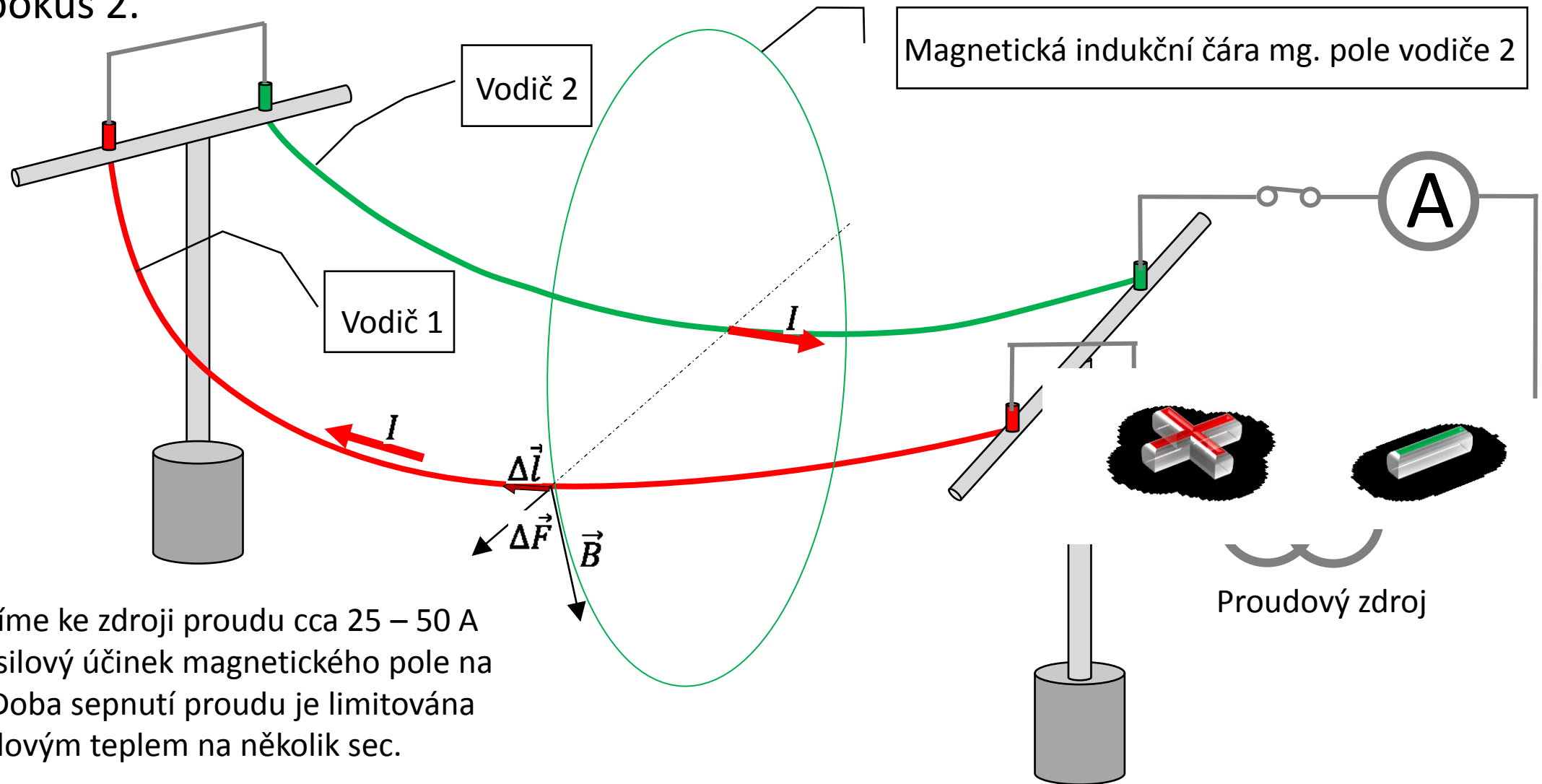


11. Ampérův pokus 1.



1. Sestavíme experiment podle obrázku. Jako prověšené vodiče lze použít neizolovaná pletená měděná lanka určená k odsávání cínu, která jsou dostatečně měkká. Výsledek pokusu může negativně ovlivnit přítomnost feromagnetických materiálů-oceli v desce a pod deskou stolu.

11. Ampérův pokus 2.



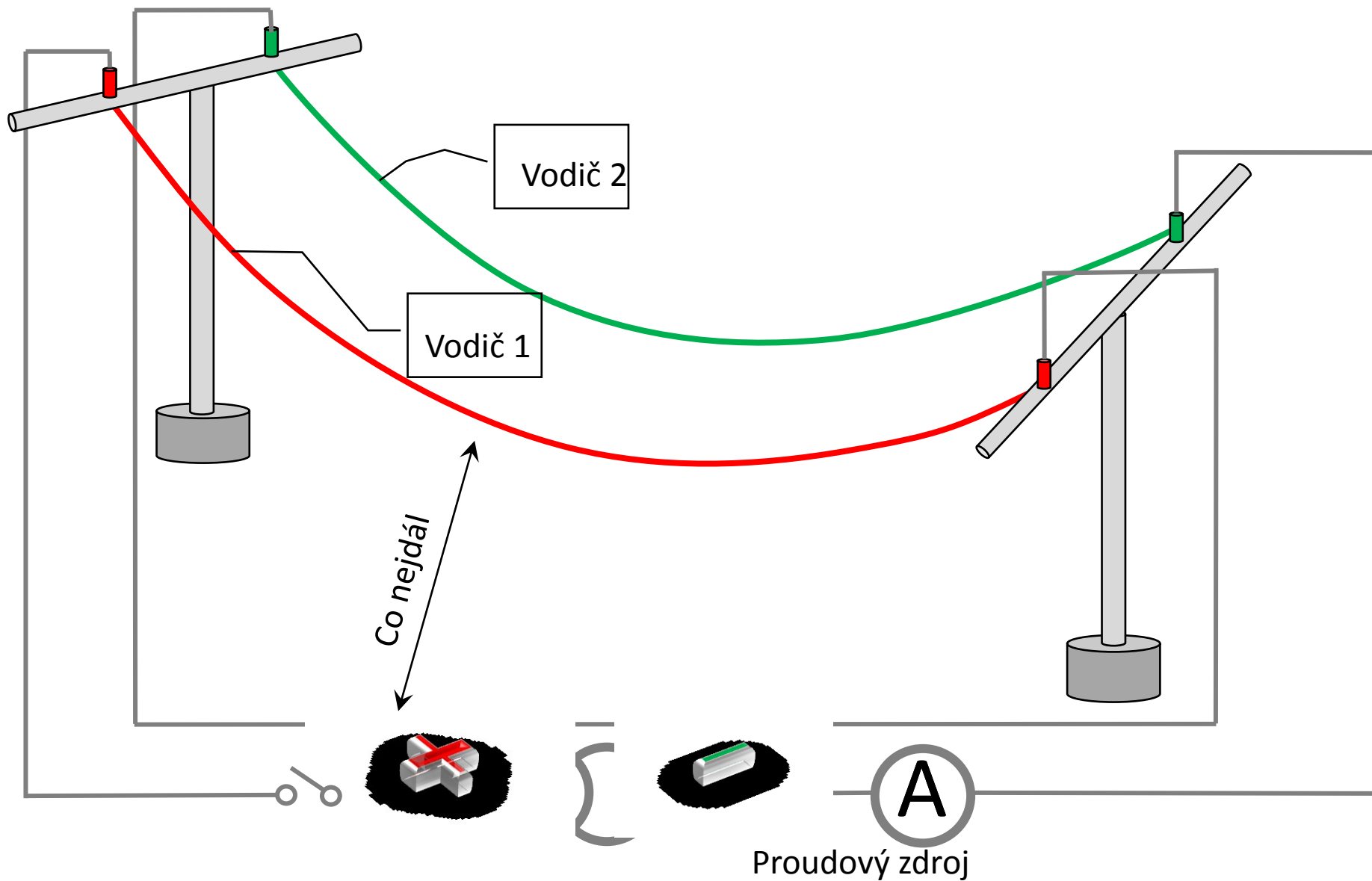
2. Vodič připojíme ke zdroji proudu cca 25 – 50 A a pozorujeme silový účinek magnetického pole na proudovodič. Doba sepnutí proudu je limitována vyvinutým Joulovým teplem na několik sec.

$$\Delta \vec{F} = I \Delta \vec{l} \times \vec{B}$$

\vec{B} lze určit přibližně z Ampérova zákona za předpokladu dlouhého přímého vodiče. Směr je dán pravidlem pravé ruky.

11. Ampérův pokus 3.

1. Sestavíme experiment podle obrázku. Jako prověšené vodiče lze použít neizolovaná pletená měděná lanka určená k odsávání cínu, která jsou dostatečně měkká. Vnější propojovací vodiče je třeba vést co nejdál od vodičů zavěšených. Výsledek pokusu může negativně ovlivnit přítomnost feromagnetických materiálů-oceli v desce a pod deskou stolu.

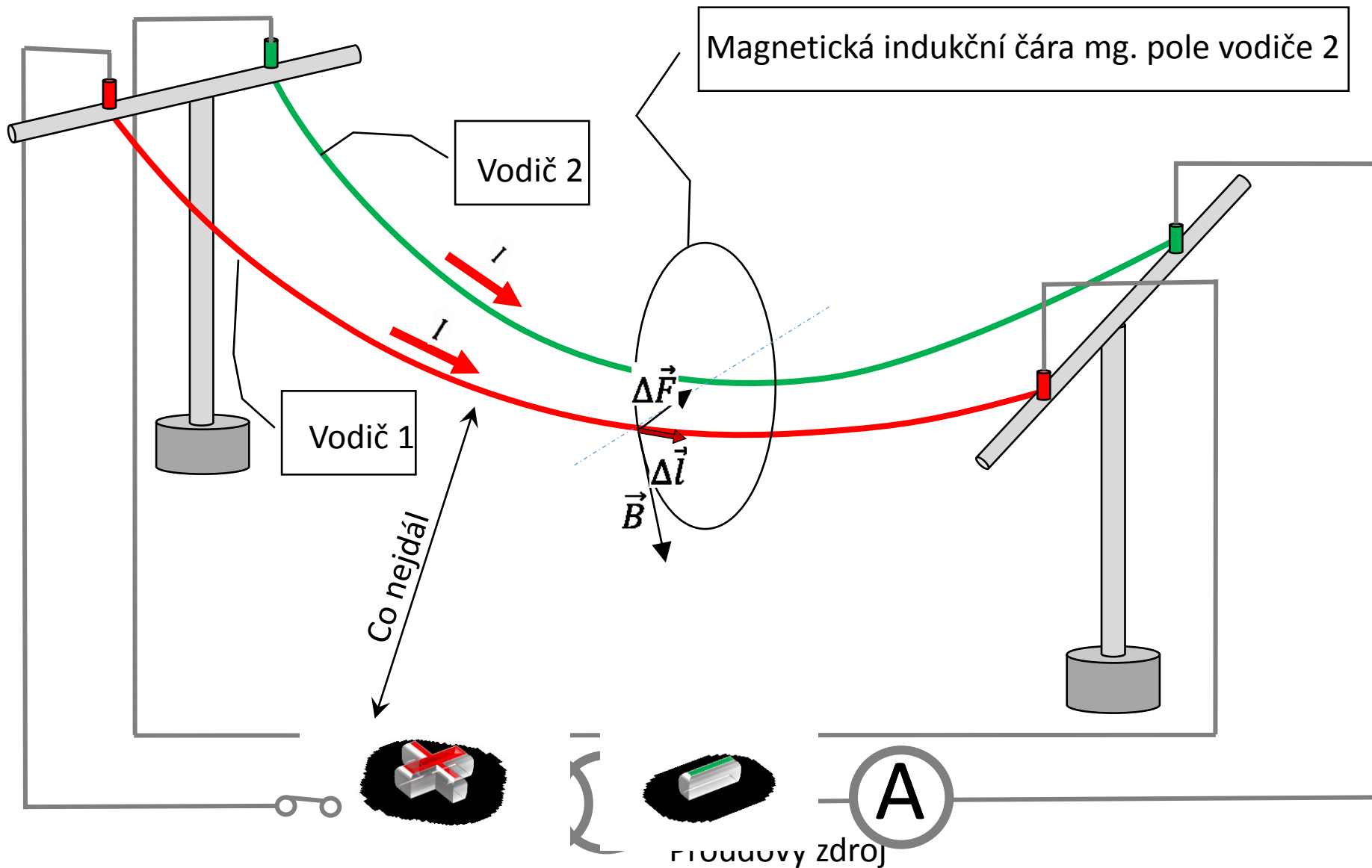


11. Ampérův pokus 4.

2. Vodič připojíme ke zdroji proudu cca 25 A a pozorujeme silový účinek magnetického pole na proudovodič, který je výraznější, než dle bodu 2., protože vodiče se k sobě přibližují. Doba sepnutí proudu je limitována vyvinutým Joulovým teplem na několik sec.

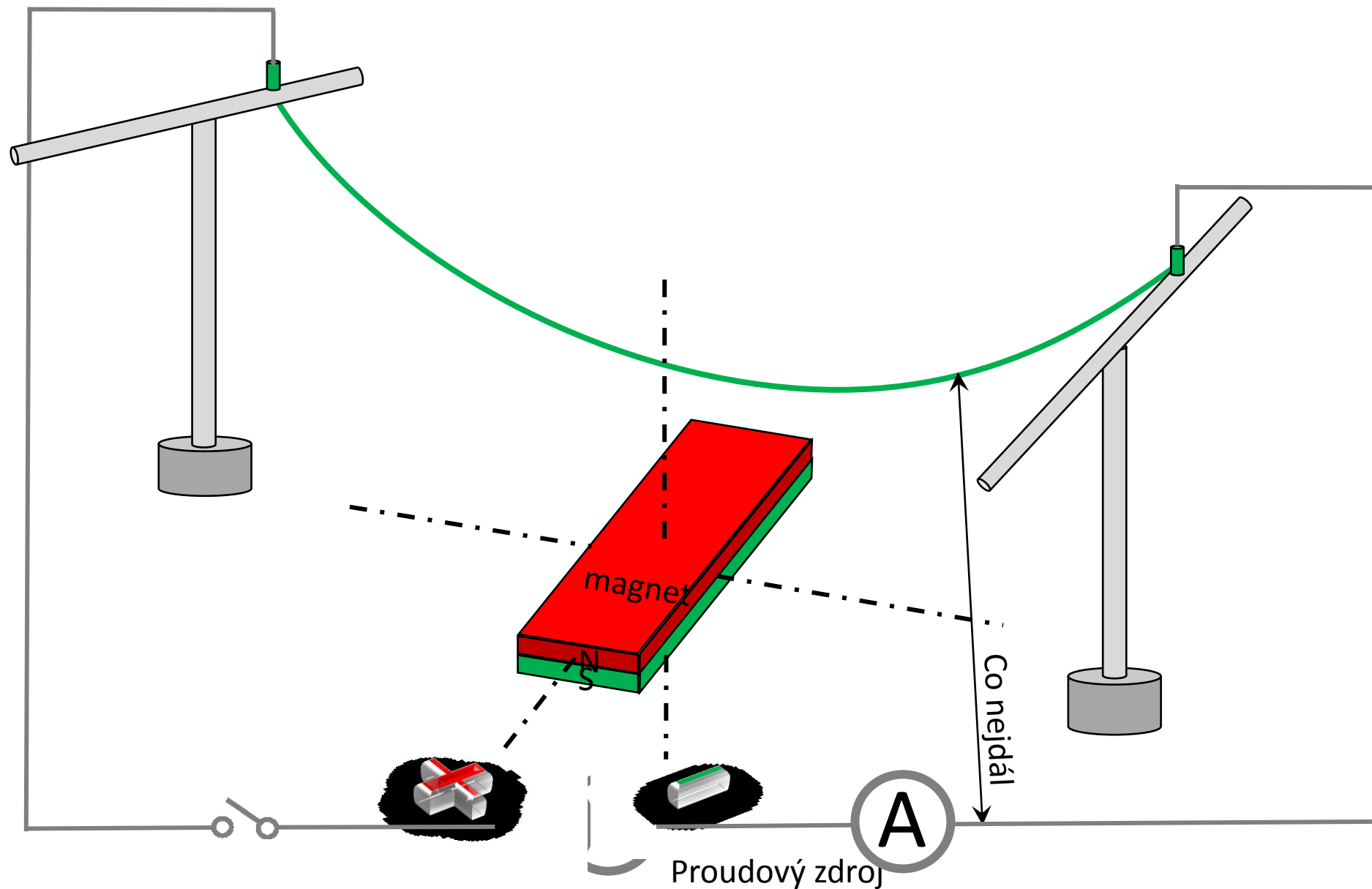
$$\Delta \vec{F} = I \Delta \vec{l} \times \vec{B}$$

\vec{B} lze určit přibližně z Ampérova zákona za předpokladu dlouhého přímého vodiče. Směr je dán pravidlem pravé ruky.



12. Určení polarity permanentního magnetu 1.

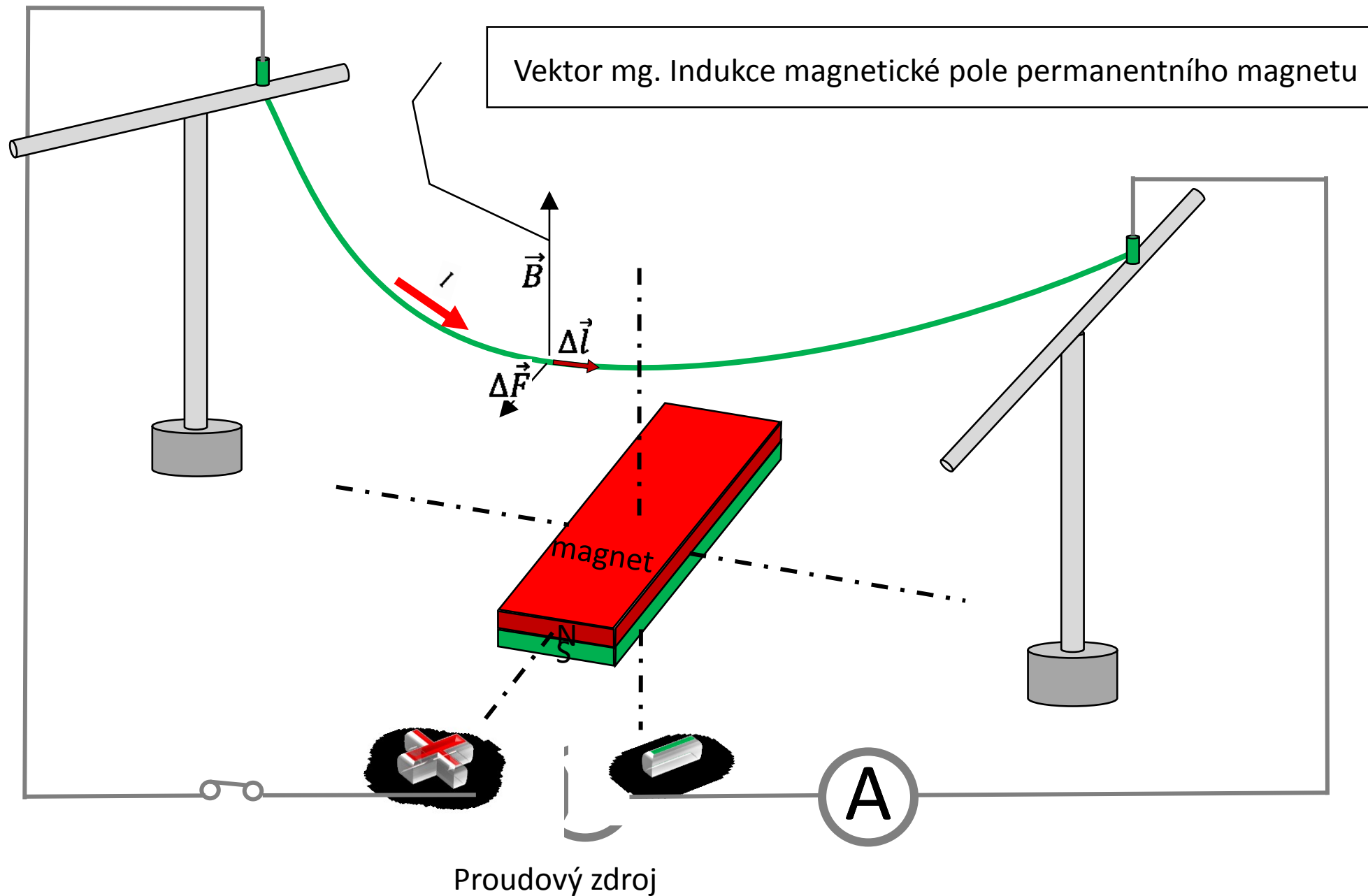
Sestavíme experiment podle obrázku. Jako prověšené vodiče lze použít neizolovaná pletená měděná lanka určená k odsávání cínu, která jsou dostatečně poddajná.



12. Určení polarity permanentního magnetu 2.

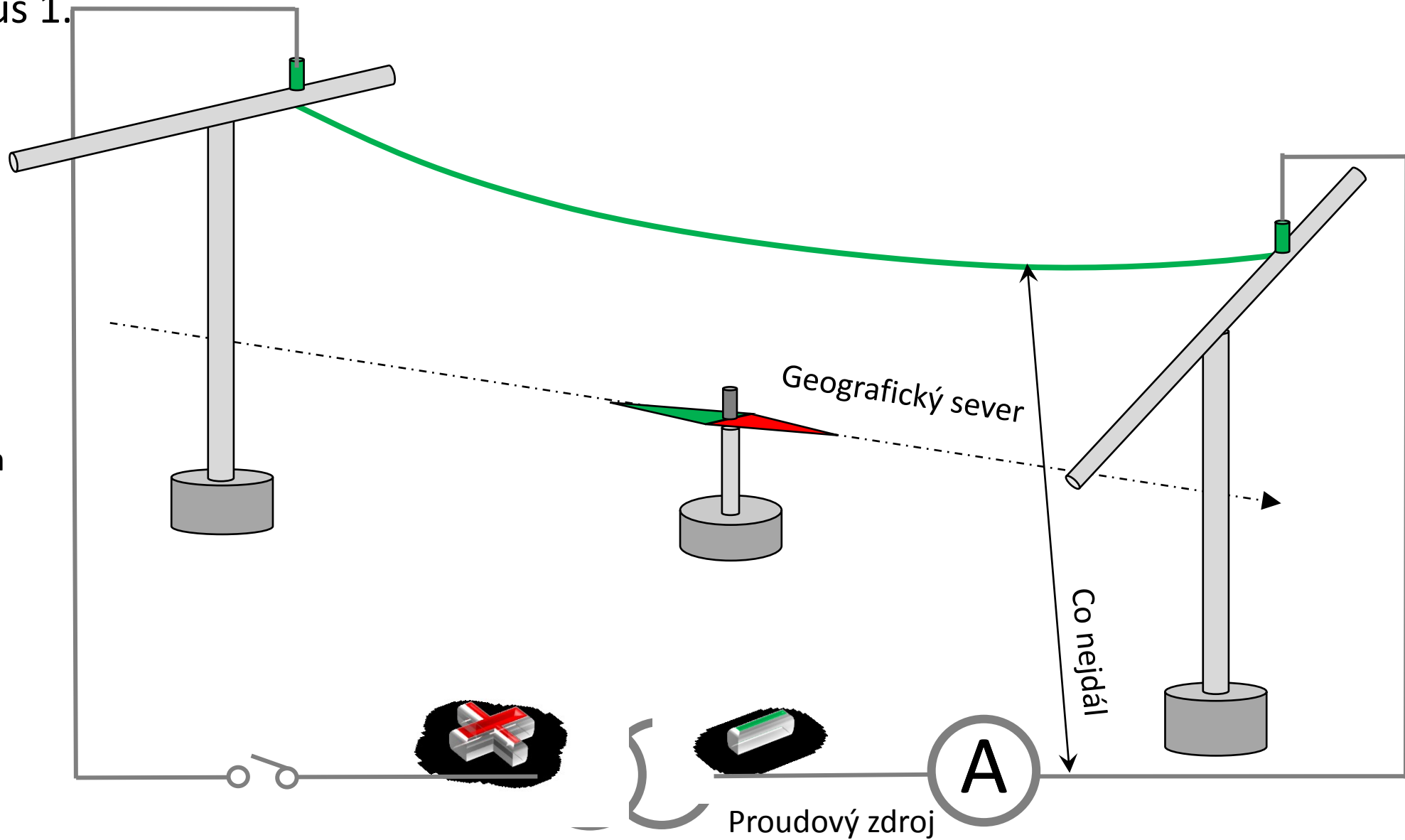
Vodič připojíme ke zdroji proudu, stačí obvykle $I < 1$ A a pozorujeme směr silového účinku magnetického pole na proudovodič. Známe-li směr proudu a směr výchylky, lze určit směr magnetického pole.

$$\Delta \vec{F} = I \Delta \vec{l} \times \vec{B}$$



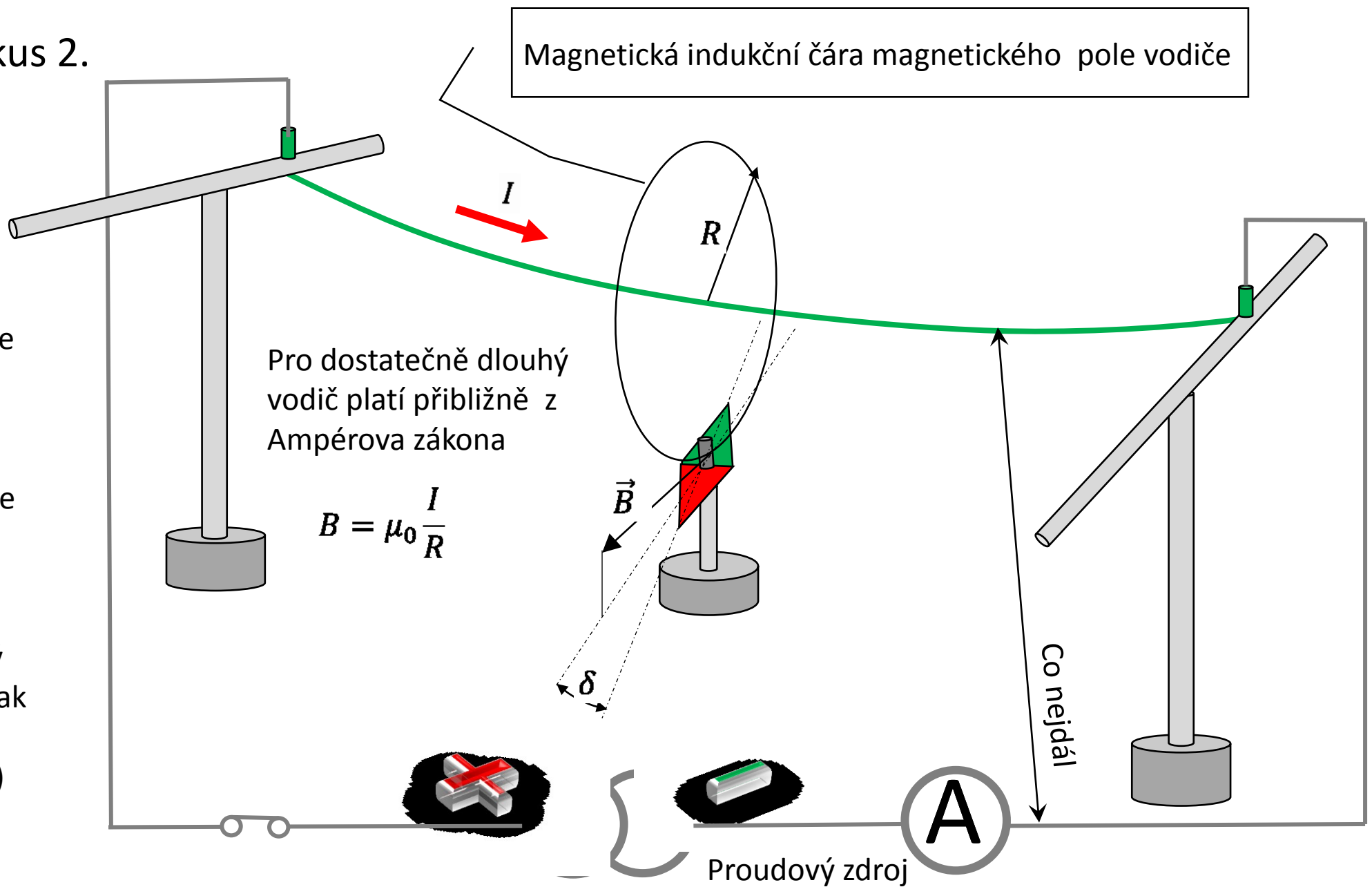
13. Oerstedův pokus 1.

Sestavíme experiment podle obrázku. Jako vodič lze použít vodiče z předchozích experimentů, který napneme v severojižním směru.



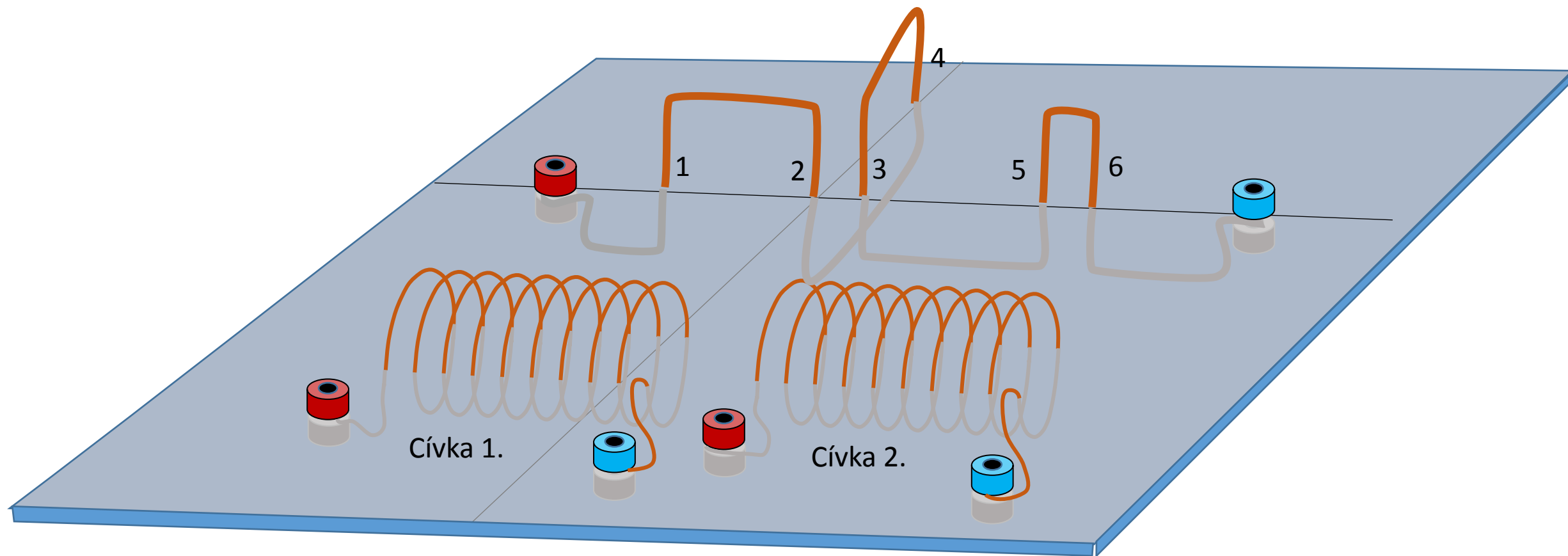
13. Oerstedův pokus 2.

Vodič připojíme k regulovatelnému zdroji proudu. Magnetické pole vodiče se superponuje s magnetickým polem zemským. Vzhledem k tomu, že magnetické pole vodiče není v místě magnetické střelky homogenní, nelze jednoduše určit výsledný směr střelky (nebo naopak ze směru střelky magnetické pole vodiče.)



14. Demonstrace tvaru elektromagnetického pole v okolí proudovodičů 1.

Celkový pohled na demonstrační desku. Obsahuje dvě cívky, které lze zapojit tak, že vytváří pole proti sobě, nebo ve stejném směru. Dále samostatné vodiče 1 a 4 a dvojice vodičů s proudem ve stejném směru 2, 3 a dva vodiče s proudem v opačném směru 5, 6.



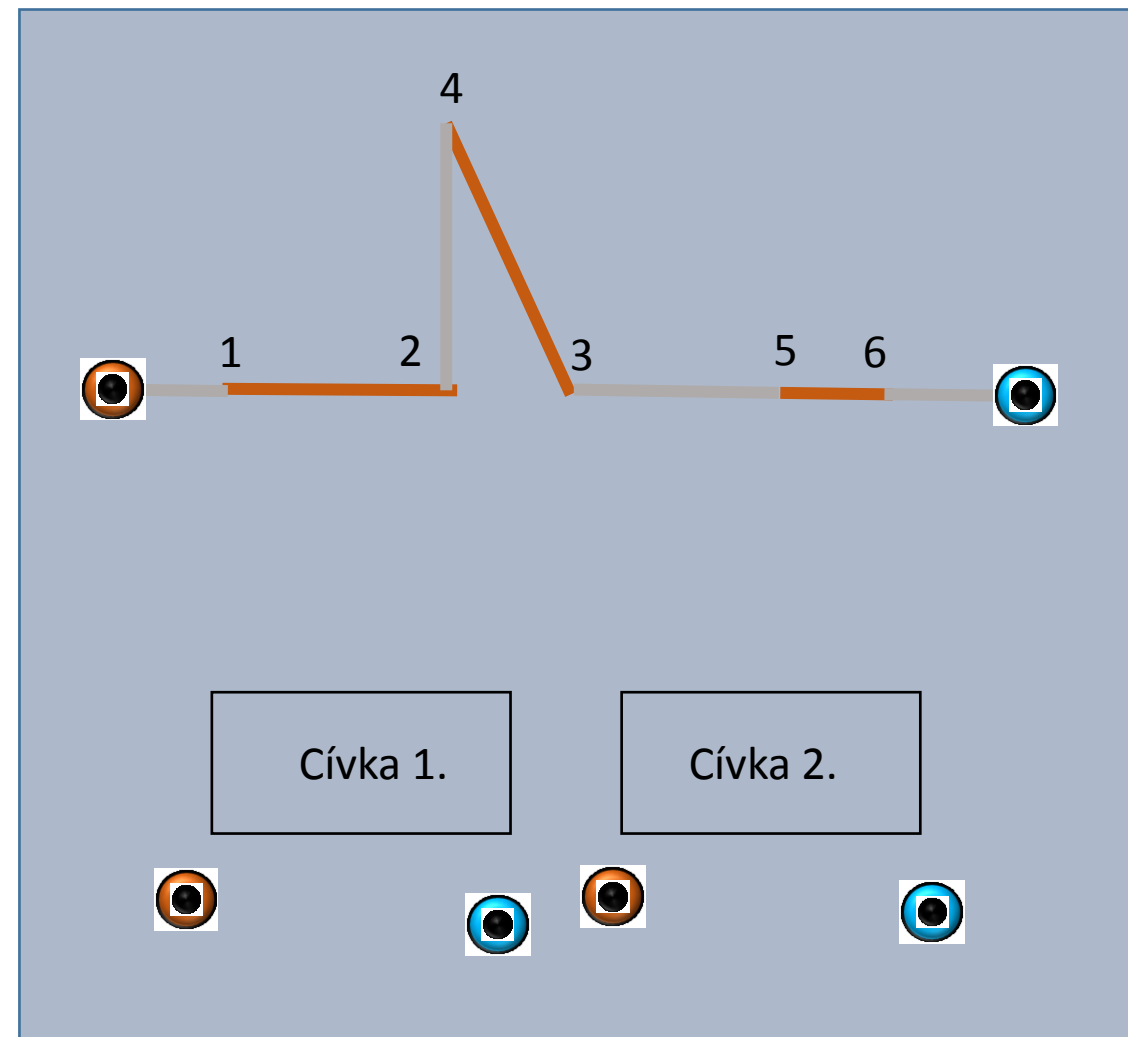
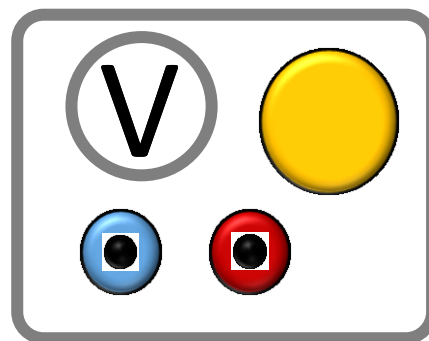
14. Demontrace tvaru elektromagnetického pole v okolí proudovodičů 2.

Zapojte ke zdroji stejnosměrného napětí přes spínač cívky 1 a 2 tak, aby vytvářely pole ve směru proti sobě.

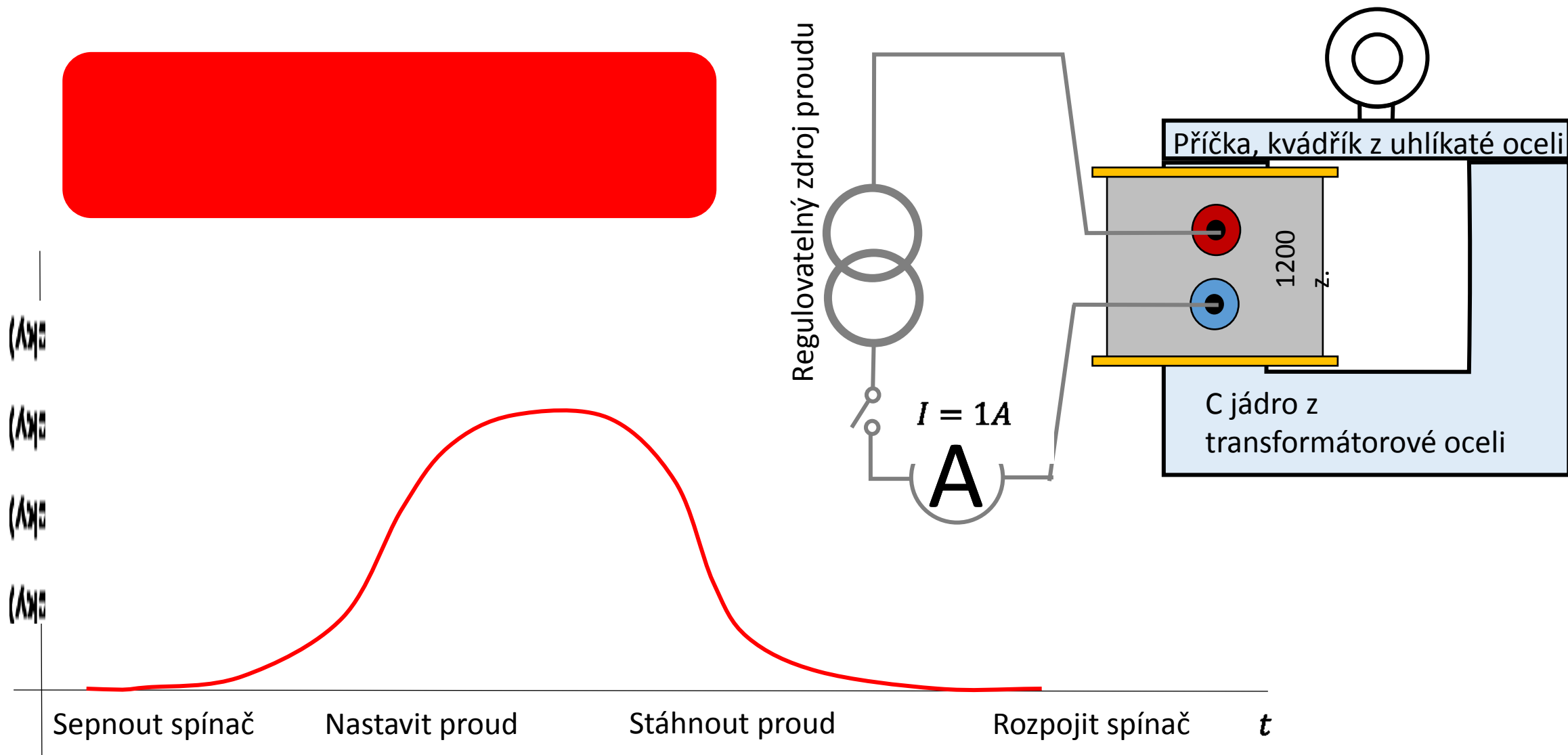
Posypte desky práškem z magneticky měkkého feritu nebo železných pilin a sepněte na krátký okamžik spínač za stálého poklepávání desky, aby se piliny mohly uspořádat do tvaru indukčních čar. Totéž proveďte s cívkami zapojenými tak, aby vytvářeli magnetické pole ve stejném směru.

Tvar indukčních čar magnetického pole jednoho vodiče 1 a 4, dvojice proudovodičů se stejným směrem proudu 2, 3 a dvou proudovodičů s opačným směrem proudu zobrazíme stejným způsobem jako pole cívek.

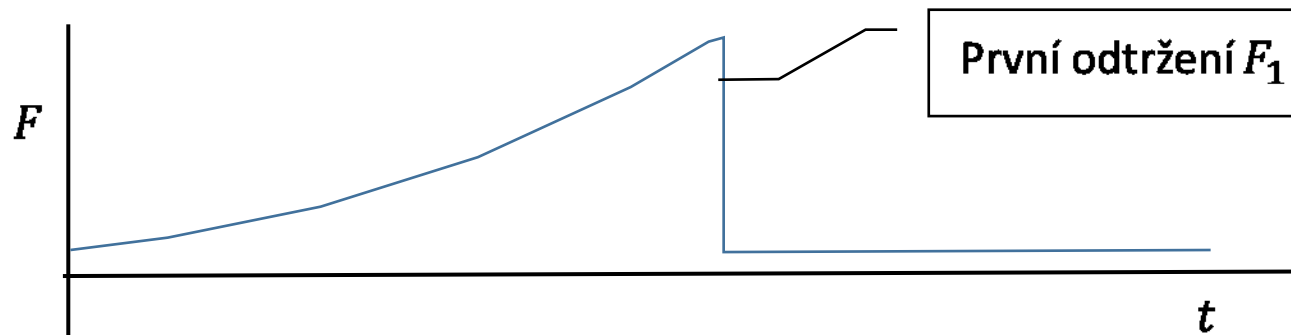
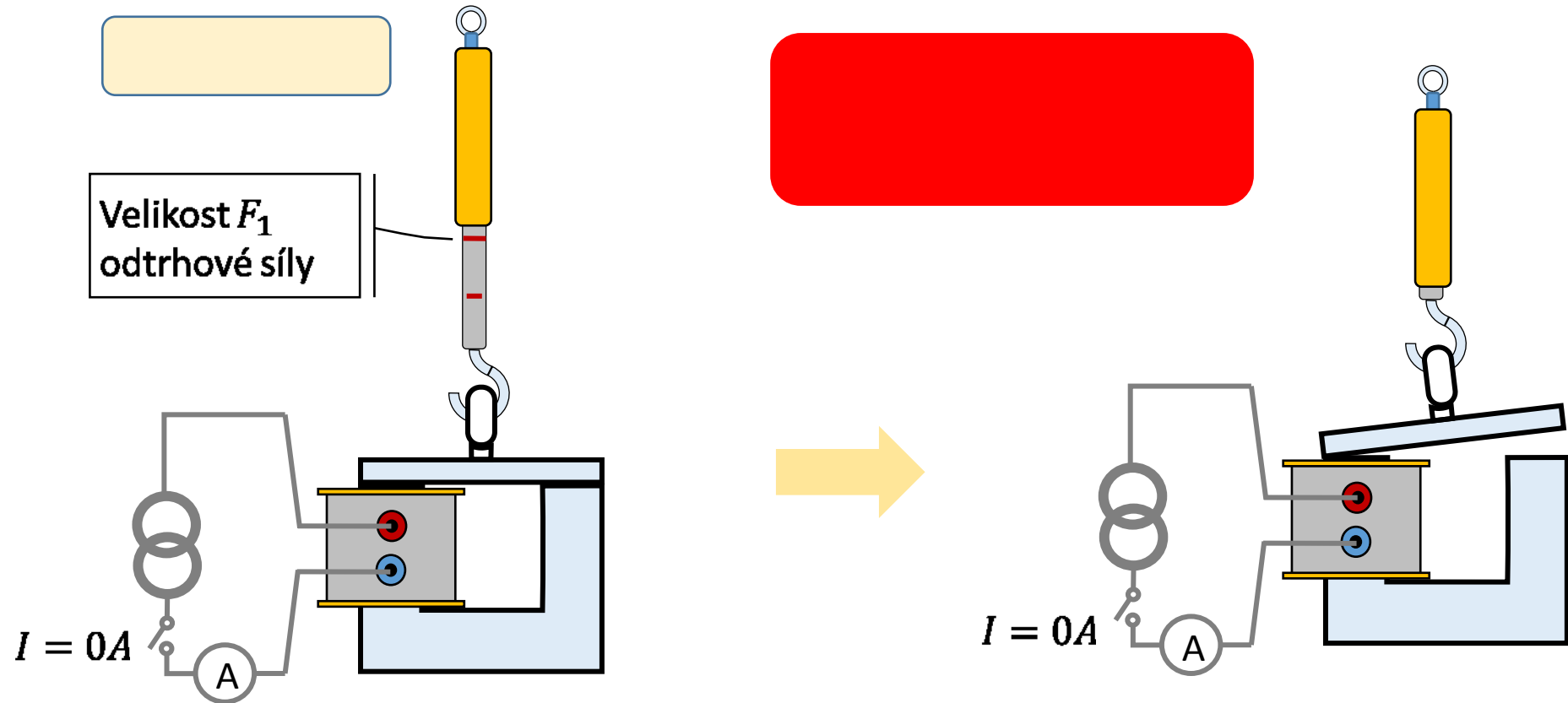
Regulovatelný zdroj
napětí $I \sim 24A DC$



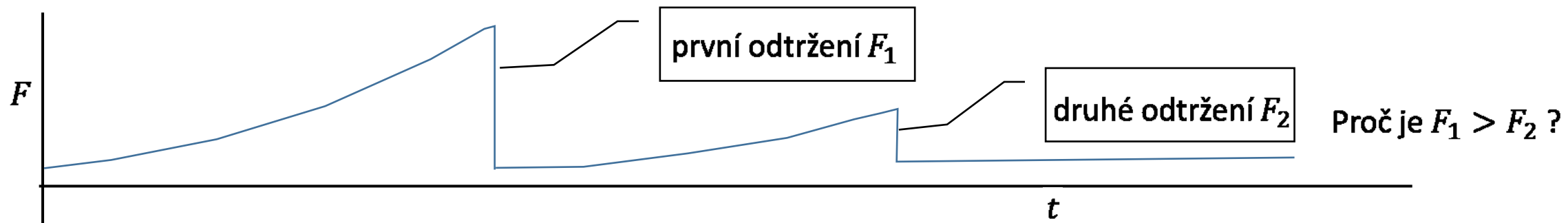
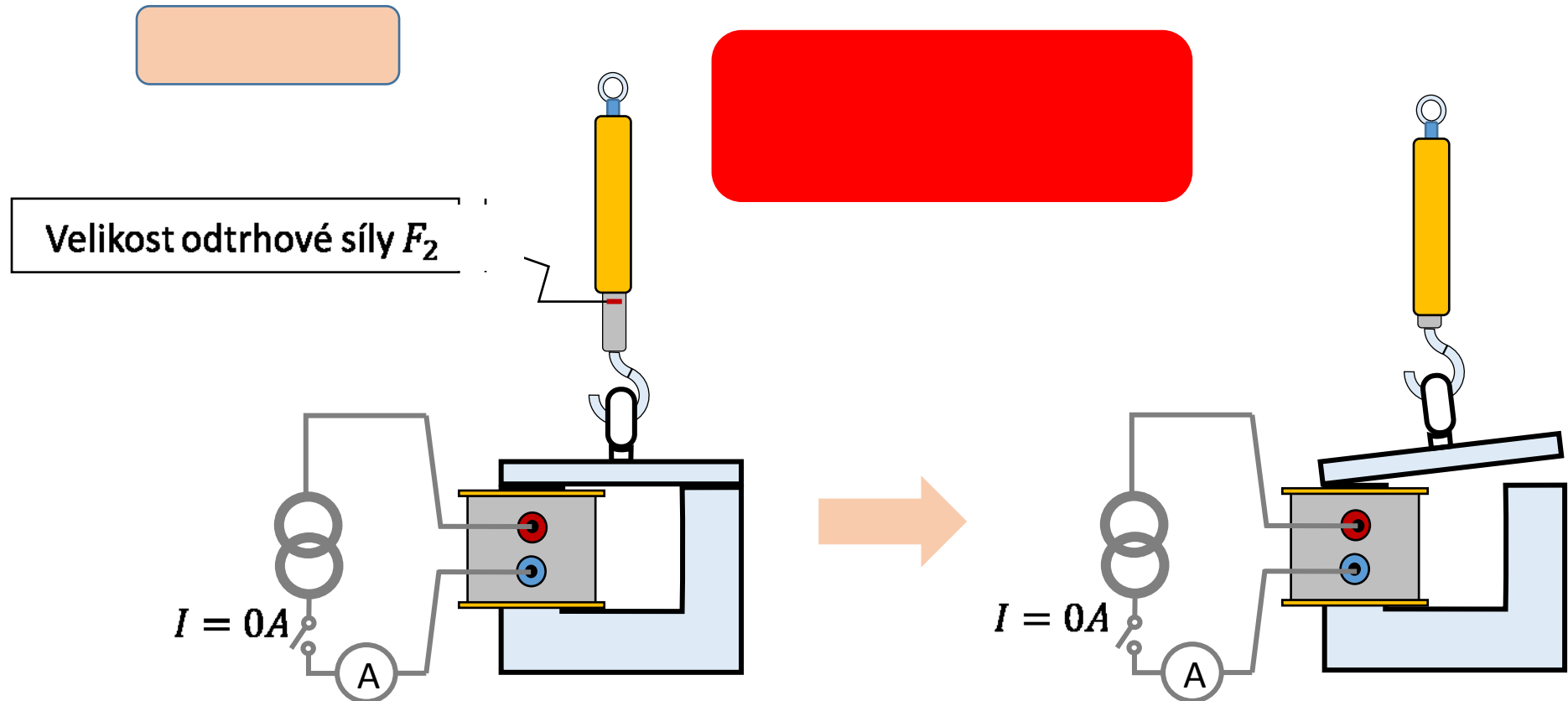
15. Demonstrace z magnetování magneticky tvrdé oceli 1.



15. Demonstrace zmagetování magneticky tvrdé oceli 2.



15. Demonstrace zmagnetování magneticky tvrdé oceli 3.



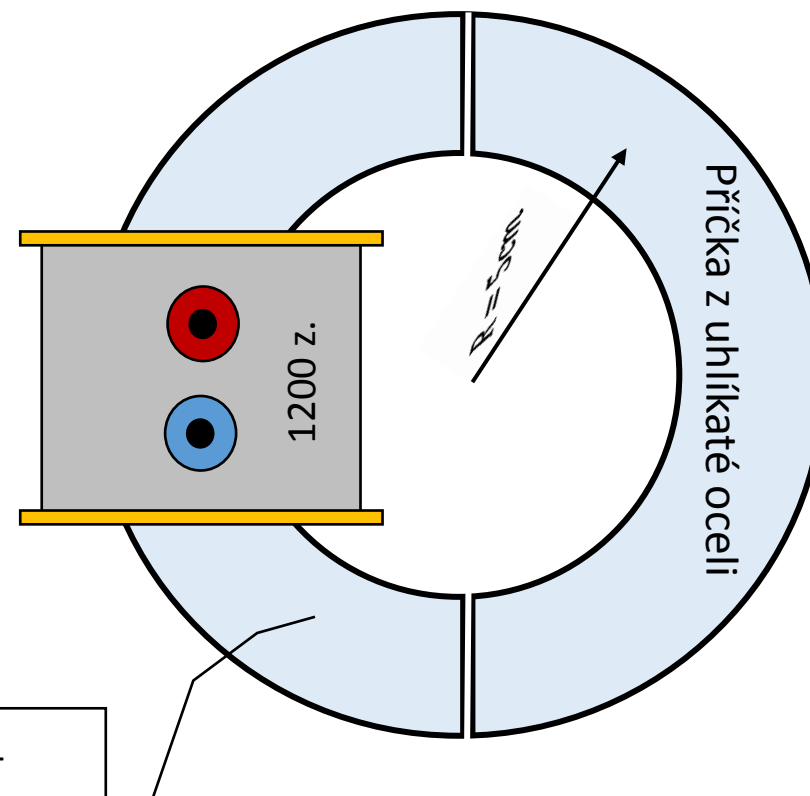
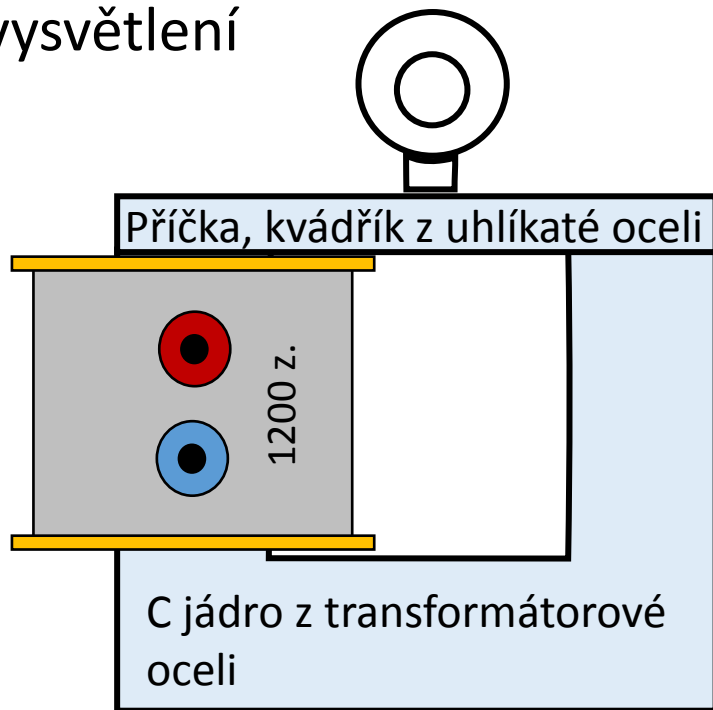
15. Demonstrace zmagnetování magneticky tvrdé oceli 4.

Proč je $F_1 > F_2$?

vysvětlení

Zjednodušení problému

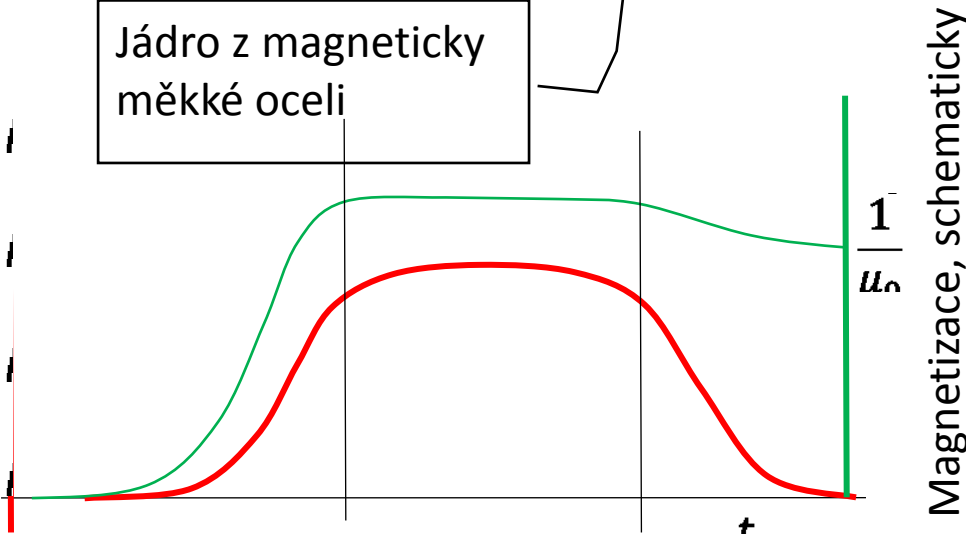
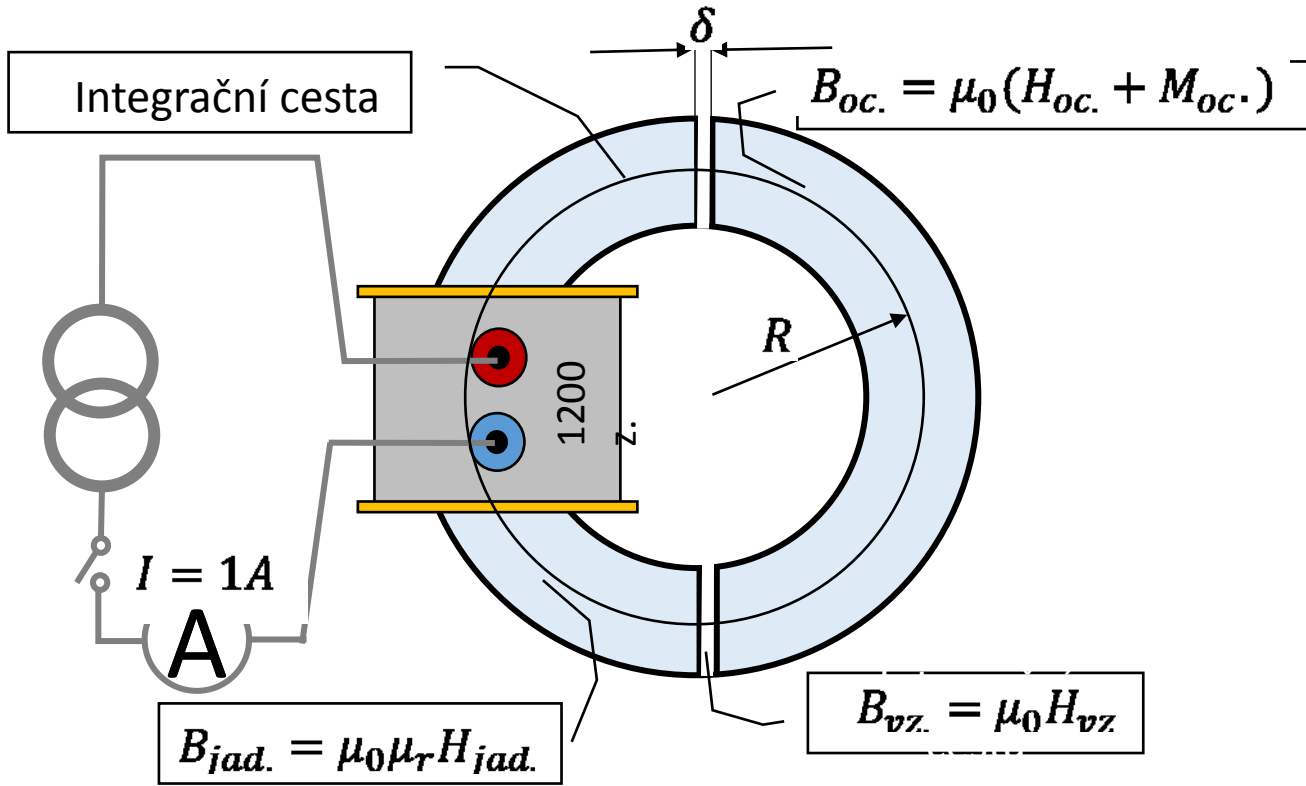
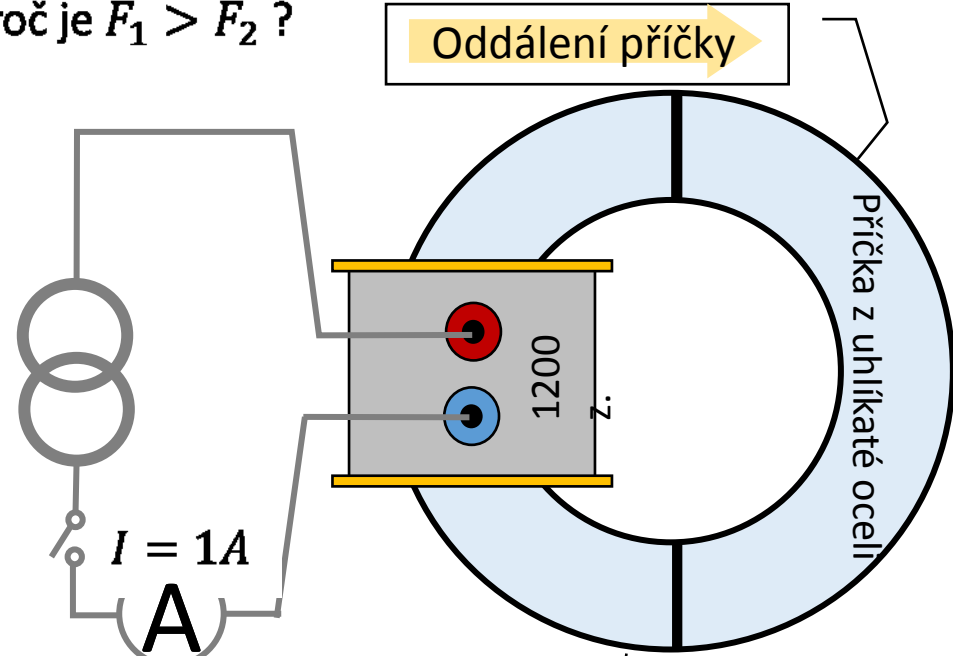
Jádro ve tvaru toroidu



jádro z transformátorové oceli -
předpoklad: dokonale magneticky
měkké $B_{jad.} = \mu_0 \mu_r H_{jad.}$
 $\mu_r > 6000.$

15. Demonstrace zmagnetování magneticky tvrdé oceli 5.

Proč je $F_1 > F_2$?



Magnetizace, schematicky

$$B_{jad.} = B_{oc.} = B_{vz} \quad \mu_r H_{jad.} = H_{oc.} + M_{oc.} = H_{vz.}$$

z Ampérova zákona $\oint \vec{H} d\vec{l} = \sum I \quad \sum I = 0$

$$H_{jad.} (\pi R - \delta) + H_{vz.} 2\delta + H_{oc.} (\pi R - \delta) = 0$$

$$(\cancel{H_{oc.} + M_{oc.}}) \frac{\pi R - \delta}{\mu_r} + (H_{oc.} + M_{oc.}) 2\delta + H_{oc.} (\pi R - \delta) = 0$$

$$H_{oc.} = -\frac{2M_{oc.} \delta}{\pi R + \delta}$$

15. Demonstrace zmagnetování magneticky tvrdé oceli 6.

Po nabuzení magnetu a odbuzení zůstane část obvodu z magneticky tvrdé oceli zmagnetovaná. Předpokládejme remanentní magnetizaci $M_{oc} = \frac{1}{\mu_0} A/m$ (magnetická polarizace 1T), viz Hysterezní křivka. Po odbuzení a vzdálení přičky o $\delta = 1mm$ plyne z Ampérova zákona $\int \vec{H} d\vec{l} = \sum I$ (za zjednodušujících předpokladů, tj. toroidní jádro z poloviny z dokonale magneticky měkkého materiálu s relativní permeabilitou $\mu_r > 6000$)

$$H_{oc.} = -\frac{2M_{oc.}\delta}{\pi R + \delta} = \frac{2 * 10^{-3}}{4\pi * 10^{-7}(\pi * 5 * 10^{-2} + 1 * 10^{-3})}$$

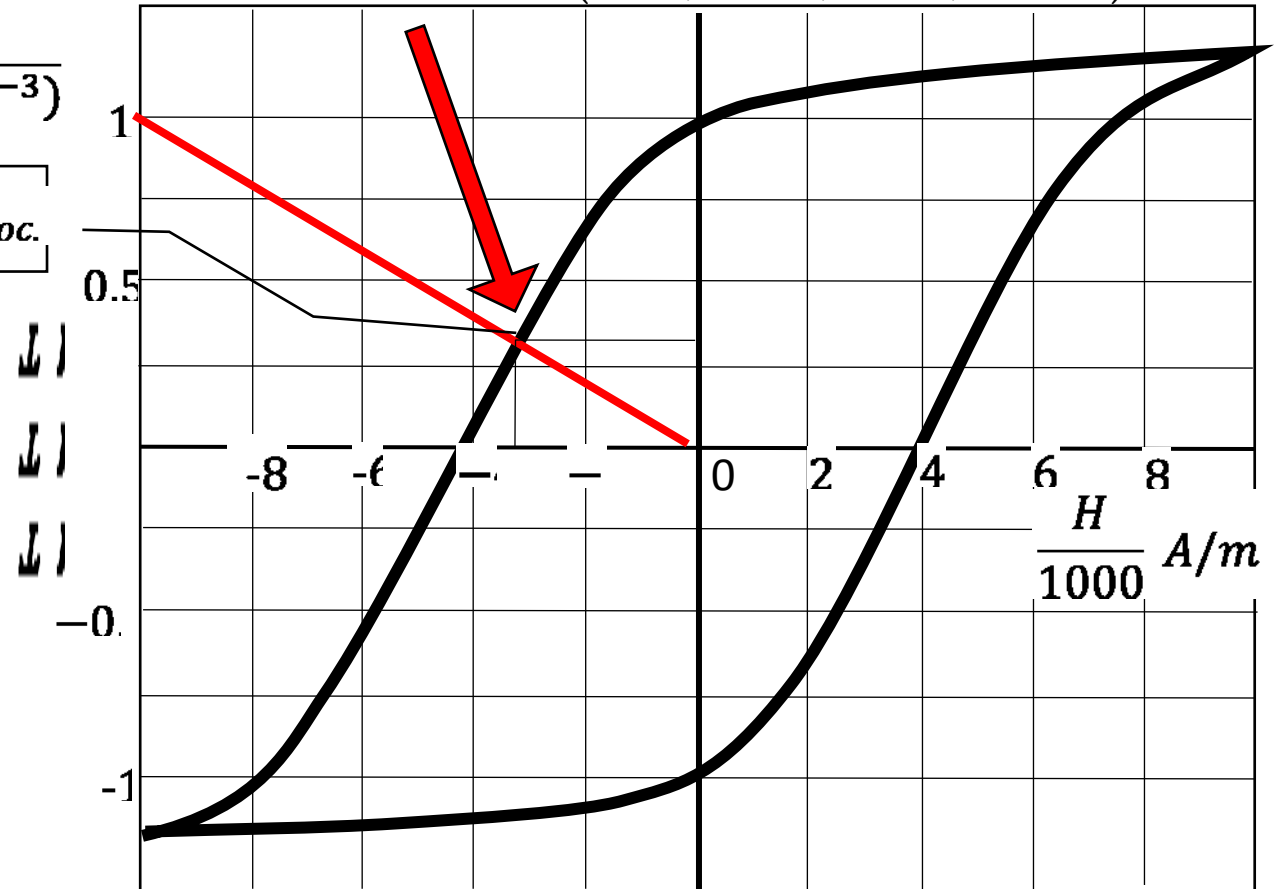
$$H_{oc.} \approx -1.3 * 10^{-2} M_{oc.} \quad J_{oc.}(H_{oc.}) \approx -10^{-4} H_{oc.}$$

$$M_{oc.} \approx -79 H_{oc.}$$

$$J_{oc.}(H_{oc.}) \approx -10^{-4} H_{oc.}$$

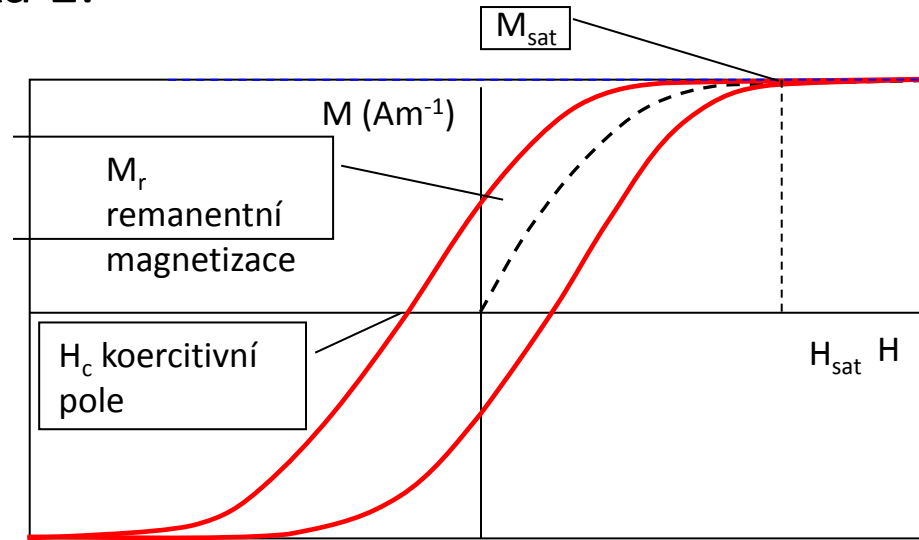
Polarizace po oddálení poloviny jádra o 1 mm klesne z hodnoty 1 T na přibližně 0,33 T při intenzitě magnetického pole $-3300 A/m$. Zmagnetovaná přička se částečně odmagnetuje.

Chromová ocel (98Fe, 0.9Cr, 0.6 C, 0.4Mn)

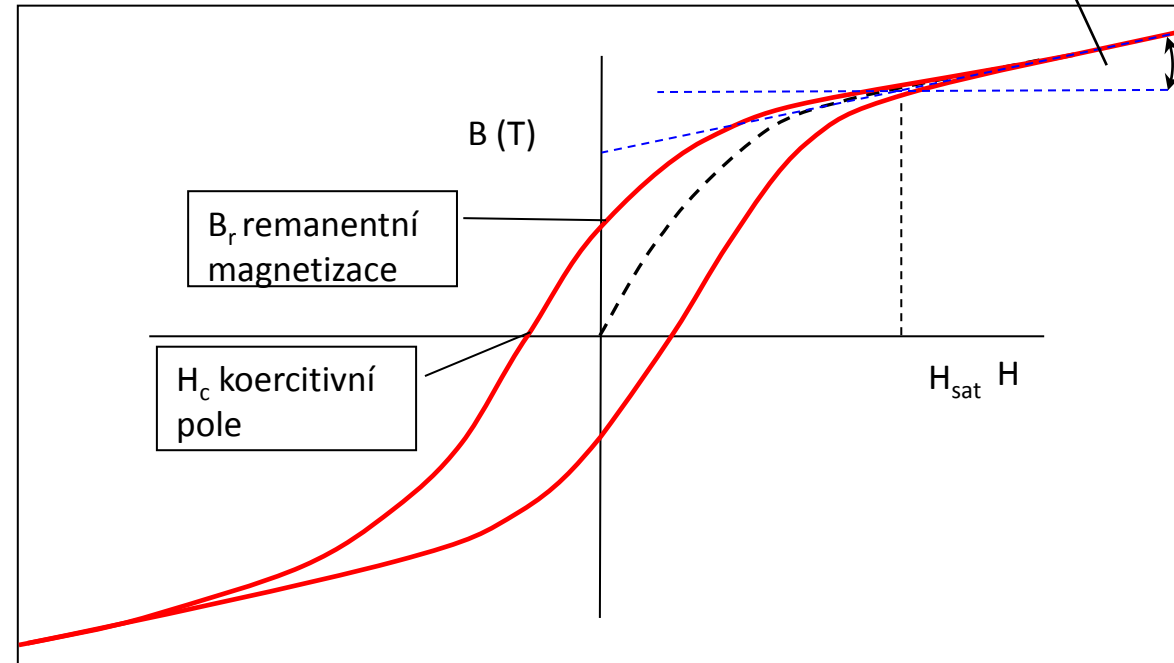


16. Hysterezní křivka feromagnetika 1.

Hysterezní křivka feromagnetika vyjadřuje vztah mezi magnetizací \vec{M} (Am^{-1}) nebo magnetickou polarizací $\vec{J} = \mu_0 \vec{M}$ (T) a intenzitou magnetického pole, nebo magnetickou indukcí $\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$ (T) a intenzitou magnetického pole **v daném místě** feromagnetika.



$$\text{tg}(\varphi) = \frac{dB}{dH} = \mu_0$$



Magnetizace (Am^{-1})

Magnetická polarizace $\vec{J} = \mu_0 \vec{M}$ (T)

Magnetická indukce $\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M})$ (T)

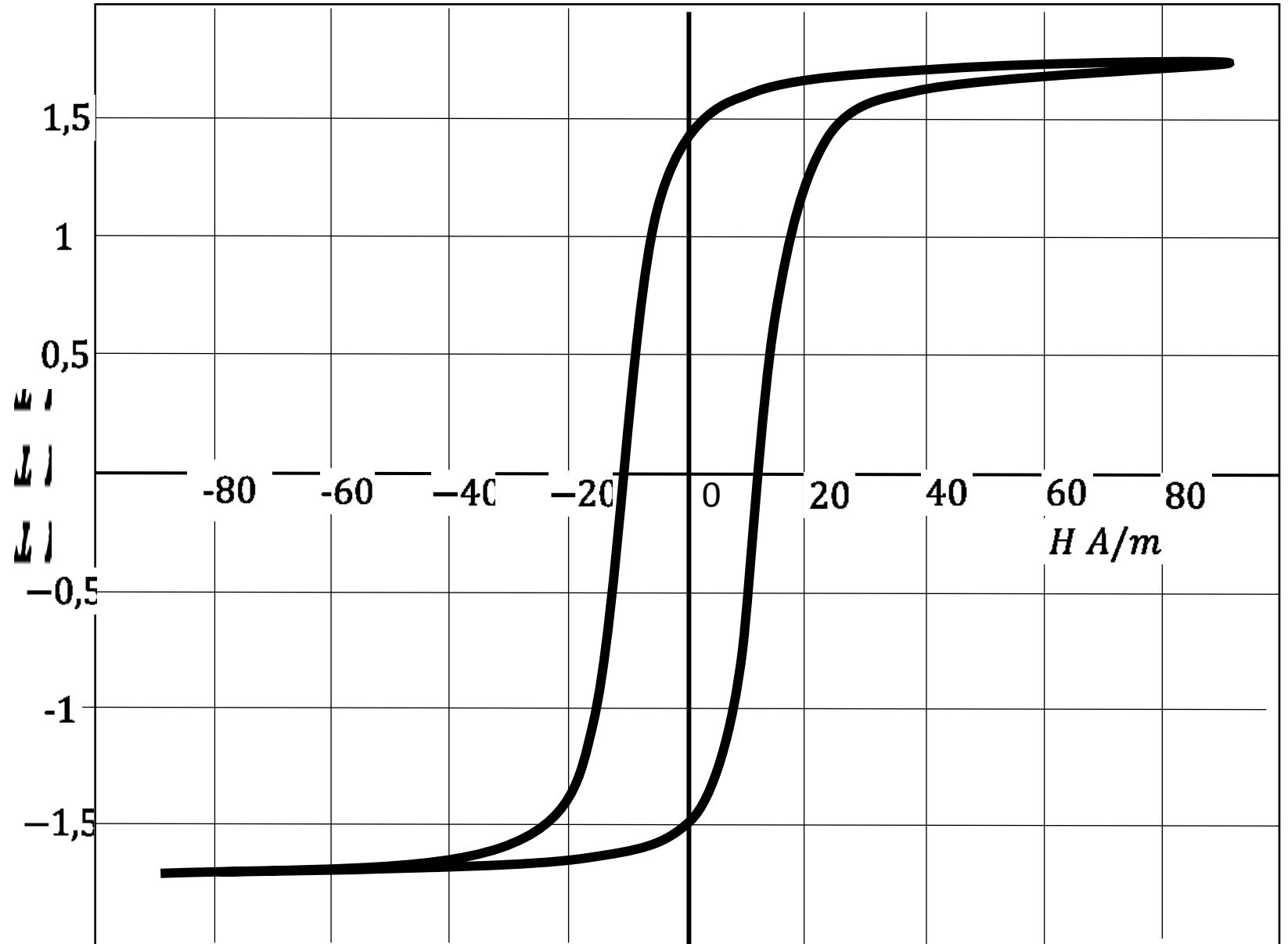
Rozdíl mezi \vec{M} a \vec{J} je pouze v jednotkách, tvar křivky je stejný.

16. Hysterezní křivka feromagnetika 2.

Transformátorová ocel plech m120-27S, magnetizace ve směru vinutí role

Příklad hysterezní křivky

Magneticky měkký
materiál (velmi malé
koercitivní pole)

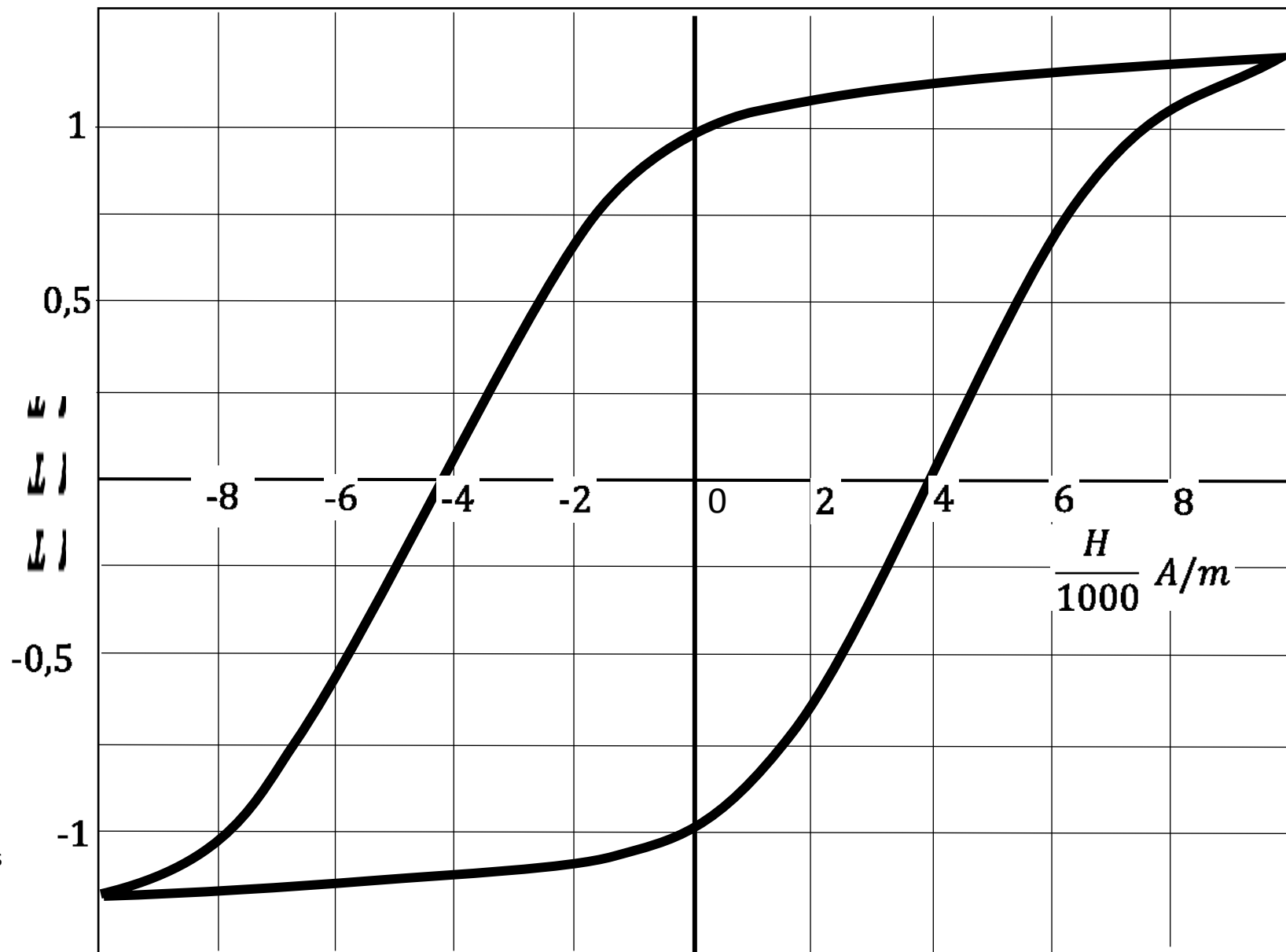


16. Hysterezní křivka feromagnetika 3.

Chromová ocel (98Fe, 0.9Cr, 0.6 C, 0.4Mn)

Příklad hysterezní křivky

Magneticky tvrdší
materiál (středně
velké koercitivní pole)



Převzato z:

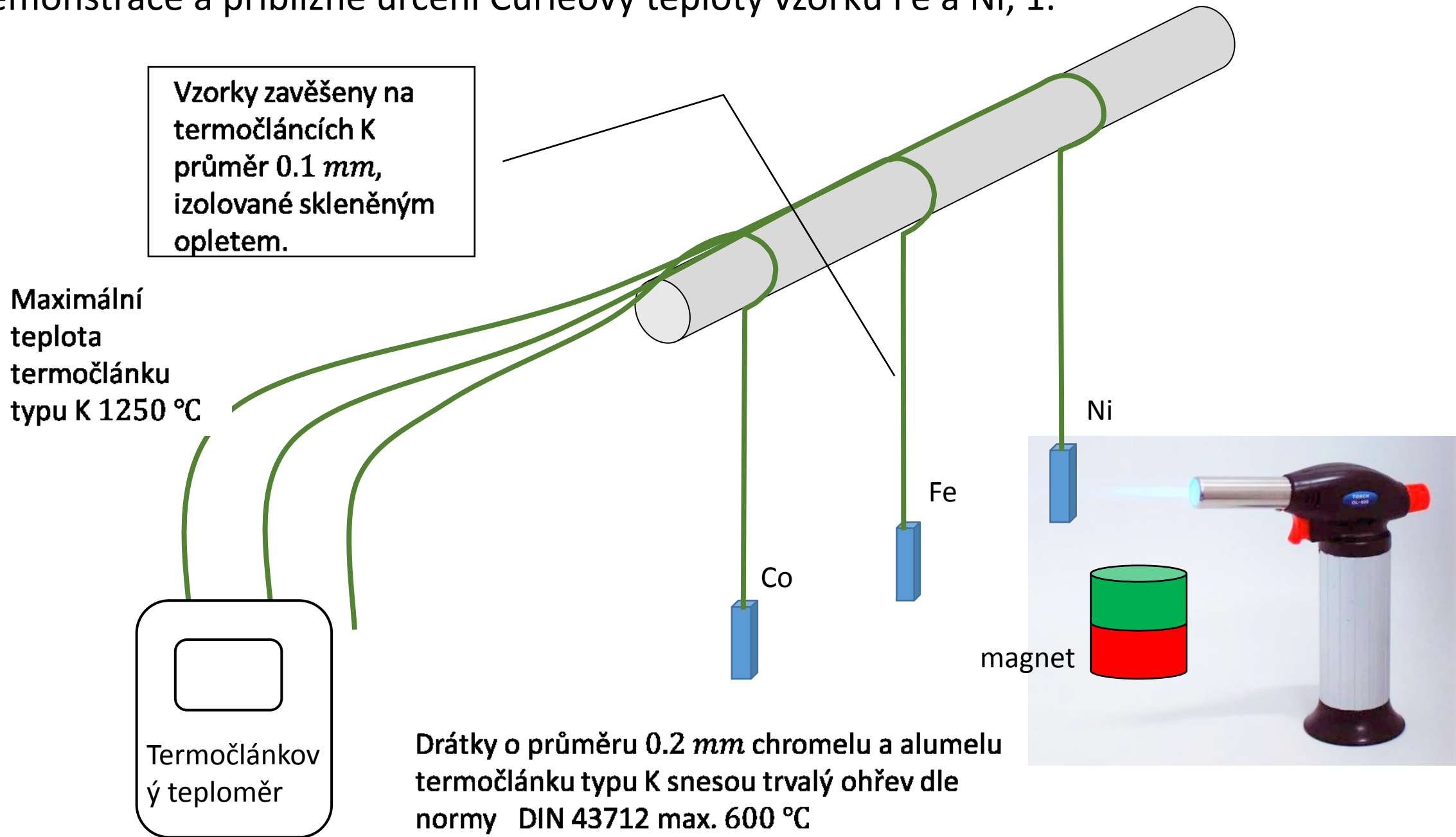
Witold Mazgaj; Zbigniew Szular; Michał Sierżęg

Approximation of Hysteresis Loops of Transformer Steel Sheets

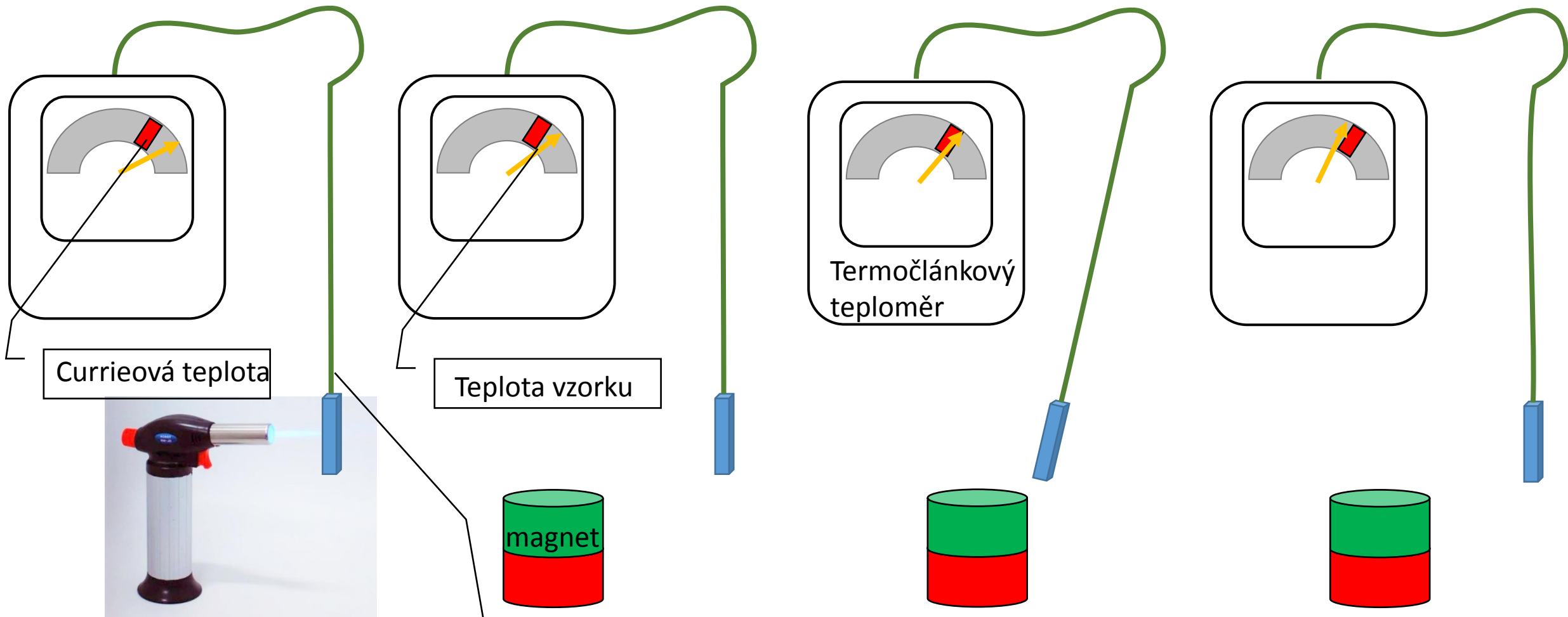
2018 International Symposium on Electrical Machines (SME)

DOI: 10.1109/SME43824.2018

17. Demonstrace a přibližné určení Curieovy teploty vzorků Fe a Ni, 1.



17. Demontrace a přibližné určení Curieovy teploty vzorků Fe a Ni, 2.



Curieová teplota

Teplota vzorku

magnet

termočlánek K průměr 0.1 mm, izolovaný skleněným opletem.

Termočlánek K
teploměr

Drátky o průměru 0.2 mm chromelu a alumelu termočlánu typu K snesou trvalý ohřev dle normy DIN 43712 max. 600 °C, max. teplota termočlánu K je krátkodobě 1250 °C

Vzorek Fe, Ni ohřejeme nad Curieovu teplotu, přiblížíme magnet a odečteme teplotu v okamžiku přitažení vzorku k magnetu. Curieova teplota Co je běžným plynovým kahanem nedosažitelná.

17. Demonstrace a přibližné určení Curieovy teploty vzorků Fe a Ni, 3.

Materiál	Curieova teplota K	Curieova teplota $^{\circ}C$
Železo	1043	770
Kobalt	1400	1130
Nikl	627	354
Gadolinium	292	19
Dysprosium	88	-185