



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ  
FAKULTA**  
Univerzita Karlova

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Lukáš Vejmelka

**Elektrická rozvodná soustava  
ve výuce fyziky**

Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Peter Žilavý, Ph.D.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: FFUM

Praha 2017

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V ..... dne .....

Podpis autora

Chtěl bych poděkovat RNDr. Peteru Žilavému, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, cenné rady a odborný dohled. Děkuji také studentům fyziky z gymnázia Voděradská za inspiraci zajímavými nápady a za ochotu při testování výukových aktivit.

Název práce: Elektrická rozvodná soustava ve výuce fyziky

Autor: Lukáš Vejmelka

Katedra: Katedra didaktiky fyziky

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Peter Žilavý, Ph.D., KDF MFF UK, Praha

Abstrakt: Zkrat, přetížení, ztráty na vedení, či úraz elektrickým proudem, ale i pojistka, jistič, chránič, transformace a ochrana před úrazem elektrickým proudem. To vše souvisí s tajemstvím fungování elektrické sítě. Vydejme se po stopách elektřiny, od elektrické zásuvky třeba až k elektrárně – co vše nás na této dobrodružné cestě potká? Uvidíme, že mnohdy půjde skutečně o život! Naštěstí se, díky důmyslné aplikaci fyzikálních principů z oblasti elektřiny a magnetismu, daří většině hrozeb zamezit. Podaří se nám odhalit roušku fyzikálních tajemství elektrické sítě, nebo nám zůstanou i nadále skryta?

Klíčová slova: elektřina a magnetismus, elektrotechnika, elektrické sítě, ochrana elektrických sítí

Title: Electric power distribution systems in physics education

Author: Lukáš Vejmelka

Department: Department of Physics Education

Supervisor: RNDr. Peter Žilavý, Ph.D., KDF MFF UK, Praha

Abstract: Short circuit, electrical overloads, power line losses and electrical injury, but also circuit breaker and fuse, leakage current protector, power transformation and protection against electric shock. All these terms are connected with the mystery of operation in electric power distribution systems. Let us join electricity on its journey from power station to everyone's socket. What do we experience on this adventurous journey? Sometimes there may be even a risk of death! Fortunately, thanks to the sophisticated application of physical principles of electricity and magnetism, most of the threats are avoided. Will we be able to uncover the veil of physical electricity site or will it defend its secrets?

Keywords: electricity and magnetism, electrotechnics, electric distribution systems, power-system protection

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| Úvod  | 3         |
| <b>1 Diplomová práce</b>                                      | <b>5</b>  |
| 1.1 Stanovené cíle práce . . . . .                            | 5         |
| 1.2 Rozcestník . . . . .                                      | 5         |
| <b>2 Rozvodná soustava v literatuře</b>                       | <b>6</b>  |
| 2.1 Učebnice fyziky, metodické materiály . . . . .            | 6         |
| 2.2 Online encyklopedie . . . . .                             | 11        |
| 2.3 Historické a poučné knihy . . . . .                       | 13        |
| 2.4 Skripta, učebnice, publikace odborného zaměření . . . . . | 14        |
| 2.5 Zajímavé články . . . . .                                 | 17        |
| 2.6 Příručky a katalogy . . . . .                             | 19        |
| 2.7 Zdroje experimentů . . . . .                              | 20        |
| 2.8 Portály, informační servery . . . . .                     | 20        |
| 2.9 Elektromontážní materiál . . . . .                        | 20        |
| 2.10 Online aplikace . . . . .                                | 21        |
| 2.11 Videá . . . . .  | 23        |
| 2.12 Odstrašující a varující . . . . .                        | 24        |
| <b>3 Přehled potřebné teorie</b>                              | <b>28</b> |
| 3.1 Elektřina . . . . .                                       | 28        |
| 3.1.1 Elektrický náboj, elektrická síla . . . . .             | 28        |
| 3.1.2 Intenzita elektrického pole . . . . .                   | 29        |
| 3.1.3 Elektrický proud . . . . .                              | 29        |
| 3.1.4 Elektrické napětí . . . . .                             | 30        |
| 3.1.5 Práce a výkon elektrického proudu . . . . .             | 31        |
| 3.1.6 Průběhy elektrických veličin . . . . .                  | 31        |
| 3.1.7 Ohmův zákon . . . . .                                   | 33        |
| 3.1.8 Teplotní závislost elektrického odporu . . . . .        | 34        |
| 3.1.9 Odpor kovového vodiče . . . . .                         | 35        |
| 3.1.10 Řazení rezistorů . . . . .                             | 36        |
| 3.2 Magnetismus . . . . .                                     | 38        |
| 3.2.1 Magnetická síla a magnetické pole . . . . .             | 38        |
| 3.2.2 Cívka a elektromagnet . . . . .                         | 39        |
| 3.2.3 Elektromagnetická indukce . . . . .                     | 40        |
| 3.2.4 Střídavý proud . . . . .                                | 42        |
| <b>4 Elektrická rozvodná soustava</b>                         | <b>47</b> |
| 4.1 Pozice ve výuce fyziky . . . . .                          | 47        |
| 4.2 Rozvodná soustava a potřeba její ochrany . . . . .        | 49        |
| 4.2.1 Jak budeme kreslit elektrická schémata . . . . .        | 49        |
| 4.2.2 Domovní přípojka pod drobnohledem . . . . .             | 51        |
| 4.2.3 Rizika jednopólových a dvojpólových dotyků . . . . .    | 56        |
| 4.2.4 Po stopách rizik elektrické sítě . . . . .              | 58        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.3      | Budujeme ochranu sítě „od plenek“ . . . . .            | 64         |
| 4.3.1    | Sít TT a TN-C . . . . .                                | 67         |
| 4.3.2    | Problémy sítě TN-C . . . . .                           | 70         |
| 4.3.3    | Sít TN-S . . . . .                                     | 79         |
| 4.3.4    | Sít s proudovým chráničem . . . . .                    | 84         |
| 4.4      | Domácnosti se sítí TN-C a TN-S . . . . .               | 91         |
| 4.5      | Jistič a proudový chránič . . . . .                    | 93         |
| 4.5.1    | Jistič . . . . .                                       | 93         |
| 4.5.2    | Proudový chránič . . . . .                             | 95         |
| <b>5</b> | <b>Elektrická rozvodná soustava ve výuce fyziky</b>    | <b>98</b>  |
| 5.1      | Dotazníkové šetření . . . . .                          | 98         |
| 5.1.1    | Struktura dotazníkového šetření . . . . .              | 98         |
| 5.1.2    | Realizace dotazníkového šetření . . . . .              | 103        |
| 5.1.3    | Vyhodnocení dotazníkového šetření . . . . .            | 104        |
| 5.2      | Návrh výukové aktivity . . . . .                       | 111        |
| 5.2.1    | Učební cíle pro výukovou aktivitu . . . . .            | 112        |
| 5.2.2    | Parametry výukové aktivity . . . . .                   | 112        |
| 5.2.3    | Požadavky na nový model . . . . .                      | 113        |
| 5.2.4    | Podoba výukové aktivity . . . . .                      | 113        |
| 5.3      | Demonstrační model rozvodné sítě . . . . .             | 118        |
| 5.3.1    | Předloha nového modelu rozvodné sítě . . . . .         | 118        |
| 5.3.2    | Nový demonstrační model rozvodné sítě . . . . .        | 119        |
| 5.3.3    | Součásti demonstračního modelu . . . . .               | 120        |
| 5.3.4    | Příklady experimentů s demonstračním modelem . . . . . | 123        |
| 5.3.5    | Vznik prvního exempláře v devíti krocích . . . . .     | 126        |
| 5.4      | Odezvy výukové aktivity . . . . .                      | 127        |
| 5.4.1    | Provedené realizace . . . . .                          | 127        |
| 5.4.2    | Výběr z reflexí . . . . .                              | 128        |
| 5.5      | Možnosti dalšího vývoje . . . . .                      | 129        |
|          | <b>Závěr</b>   | <b>130</b> |
|          | <b>Seznam použité literatury</b>                       | <b>131</b> |
|          | <b>Seznam obrázků</b>                                  | <b>134</b> |
|          | <b>A Přílohy</b>                                       | <b>137</b> |

# Úvod

Diplomová práce *Elektrická rozvodná soustava ve výuce fyziky* se věnuje základním principům fungování elektrické sítě a její pozici ve výuce fyziky. Současně se zaměřuje na potřebu zvýšit *elektrotechnickou gramotnost* všech, kteří běžně zapojují spotřebiče do elektrické sítě.

Na tom není samozřejmě nic složitého; elektrickou zástrčku, řekněme lampičku, vsuneme do nejbližší volné zásuvky a je hotovo. Ale co když je přívodní šňůra krátká? Máte pravdu – použijeme prodlužovací přívod. Zrovna tady jeden leží!



Obrázek 1: Vzezření podezřelé prodlužovací šňůry

Nyní máme tyto možnosti:

- (a) „*Výborně, tu zrovna jeden leží,*“ zvoláme, závady si nevšimneme, lampičku zapojíme a začneme si číst.
- (b) „*Ale né. Ten je nějaký divný,*“ se zklamáním položíme nález zpět.
- (c) „*Vida ho! Je trošku z formy – tak se ukaž,*“ zapojíme lampičku, uchopíme knihu a osvětlení fungujícím spotřebičem, vydáme se mezi řádky.
- (d) „*Tohle musí pryč, nedá se svítit,*“ racionálně zkonstatujeme situaci a čtení necháme na ráno.

Ať už se čtenář rozhodne jakkoli, nastíněná konkrétní situace nemusí za určitých předpokladů dopadnout vůbec špatně. V každém případě by ale měl tušit, jaká rizika dostupnost tohoto poškozeného prodlužovacího přívodu představuje.

Ano, čtenář (a) měl to „štěstí“, že si závady nevšiml a nebyl při akutní čtecí touze nijak omezen. Bude ho ale mít vždy?

Čtenář (b) šel štěstí naproti. Byl si vědom toho, že se šňůrou je něco v nepořádku, a tak ji nepoužil. Možná ho ale štěstí opustí, až v důsledku jeho laxního nezamezení používání přívodu dojde k vážnému úrazu elektrickým proudem.

Zřejmě poučený čtenář (c) si byl vědom podoby rizik používání takového přívodu, prověřil třídu ochrany zapojovaného spotřebiče a problém tím přestal existovat. Bohužel jen pro něj.

Přáním této diplomové práce je, abychom byli pokud možno laskavými čtenáři typu (d), to jest takovými, kteří by zamezili riziku, že by se spotřebiteli typu (a) mohlo něco stát. Třeba kdyby do takového přívodu ráno zapojil varnou konvici, aby nám připravil čaj.

Na začátku uvedená potřeba elektrotechnické gramotnosti dostala tímto úvodním příběhem zcela konkrétní podobu.

První kapitola této diplomové práce, *Rozvodná soustava v literatuře*, shrnuje dostupné zdroje týkající se rozvodné sítě (učebnice, články, informační servery, aplikace nebo videa). Následuje *Přehled potřebné teorie*, který podává pro další výklad důležitá témata elektřiny a magnetismu, a to s důrazem na jejich praktické uplatnění v rozvodných sítích. Ústřední kapitola *Elektrická rozvodná soustava* nás srozumitelným způsobem provede na první pohled složitou strukturou elektrické rozvodné sítě, seznámí nás s možnostmi její ochrany a umožní nám nahlédnout pod kryt jističe a proudového chrániče. Poslední kapitola, *Elektrická rozvodná soustava ve výuce fyziky*, dokumentuje praktickou realizaci činností vedoucích ke zvyšování povědomí o záležitostech elektrické sítě kolem nás. Seznámíme se s výsledky dotazníkového šetření, které se týkalo spotřebitelské a fyzikální orientace v rozvodné síti. Bude nám také představena výuková aktivita s ambicemi zvýšit elektrotechnickou gramotnost. Současně s aktivitou nahlédneme i do kufříku, který skrývá nový *demonstrační model rozvodné sítě*, který byl v rámci této práce speciálně navržen, vyroben a otestován.



# 1. Diplomová práce

## 1.1 Stanovené cíle práce

1. Shrnout dosavadní materiály, které jsou k tématu rozvodných sítí v souvislosti s výukou fyziky k dispozici, a představit současný stav řešení této problematiky.
2. Vytipovat součásti a skutečnosti související s přenosovou a distribuční sítí, které jsou příkladem aplikace fyzikálních principů, mají vztah k běžnému životu a neexistuje pro ně ucelený učební materiál.
3. Na základě šetření prováděného na žácích středních škol stanovit k vybraným tématům v odpovídající úrovni učební cíle, navrhnout vhodné formy učebních aktivit k jejich dosažení a vypracovat příslušné výukové materiály.
4. Realizovat vybranou učební aktivitu a provést reflexi splnění stanovených učebních cílů.<sup>1</sup>

## 1.2 Rozcestník



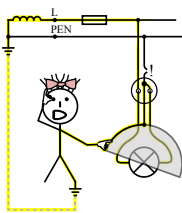
(a)

elektrického náboje, hovoříme c  
ivně porovnávat mohltnost t  
blesku ve vzduchu nebo měděnc  
me veličinu *elektrický proud I*

$$I = \frac{Q}{t},$$

itních hodnot celkového kladu  
aného vodiče za čas *t*.  
i se setkáváme na každém rohu  
í proud, aby se nepoškodily, ně

(b)



(c)



(d)



(e)

- (a) **Rešerše.** Rozsáhlý přehled zdrojů vážících se k rozvodné síti s důrazem na jejich možné použití při rozšiřování obzorů učitelů nebo přímo v rámci výuky. ↪ strana 6
- (b) **Teorie.** Pomocí vzpomínek netradičně koncipované shrnutí potřebné teorie kladoucí si za cíl upozornit na klíčovou potřebu utváření širokých souvislostí. ↪ strana 28
- (c) **Rozvodná síť.** Ucelený učební text s nezbytným minimem odborné terminologie živě a srozumitelně prezentuje pro život užitečná témata struktury a funkce elektrických rozvodů kolem nás. ↪ strana 47
- (d) **Výuková aktivita.** Z výsledků šetření na školách sestavená a v praxi prověřená výuková aktivita s cílem zvýšit elektrotechnickou gramotnost. ↪ strana 98
- (e) **Model.** Důmyslně navržená a vyrobená modulární demonstrační sada rozvodné sítě složená z reálných elektrických komponent umožňující předvést nebezpečné situace nebo vylepšovat síť dalšími ochranami. ↪ strana 118

<sup>1</sup>Dílčí cíle ve vztahu k žákům jsou diskutovány průběžně v příslušných kapitolách.

## 2. Rozvodná soustava v literatuře

V této části je podán přehled zdrojů, z nichž lze čerpat informace související s elektrickou rozvodnou soustavou za účelem upřesnění, doplnění nebo rozšíření vlastního povědomí o rozličných elektrotechnických tématech, či ke zpestření výuky elektřiny a magnetismu na základní i střední škole. Kromě standardní literatury jsou uvedeny i odkazy na důležité webové portály, zajímavé články a pokročilejší skripta.

*V průběhu textu je na zdroje odkazováno jednak standardní citací, dále hypertextovými odkazy pro elektronickou verzi a v některých případech rovněž tištěnými QR kódy<sup>1</sup> pro snadné přesměrování z papírové verze.*

### 2.1 Učebnice fyziky, metodické materiály

Ukažme nejprve, jak elektrotechnické téma rozvodných soustav zpracovávají současné, dřívější i méně známé učebnice fyziky na základní a střední škole.

#### Fyzika 9 učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia (FRAUS)



Učebnice (Rauner, 2007) z nakladatelství FRAUS obsahuje elektrodynamiku a partii o polovodičích. Je potěšující, že elektrodynamika nekončí hýbáním tyčových magnetů okolo cívek ze školní demonstrační sady, ale opravdu aplikací, tj. u motorů a jejich uplatnění – tramvaj, soustruh, vysavač atd. Zmínka o rozvodných sítích je doprovázena obrázky zásuvek na 230 V i 400 V, viz 2.1(f) na straně 7.

#### Fyzika pro 9. ročník základní školy (Prometheus)

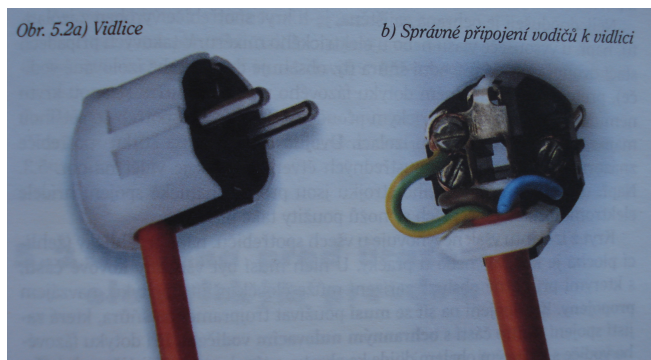


Hojnost v zastoupení praktických aplikací elektřiny a magnetismu se týká i učebnice pro 9. třídu základní školy (Kolářová, 2000) z nakladatelství Prometheus. Obrázek 2.1(g) na straně 7 z této učebnice zobrazuje správné zapojení vodičů ve vidlici pohyblivého přívodu. Ve stejné sekci žák nalezne i krytu zbavenou elektrickou zásuvku s pojmenováním přívodních vodičů, včetně skromného náznaku funkce ochranného kolíku.

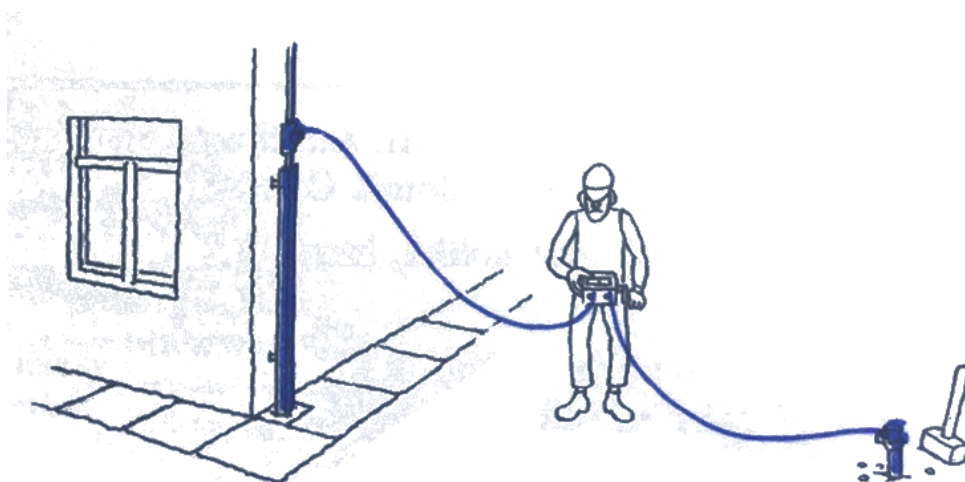
<sup>1</sup>Speciální typ čárového kódu. Pomocí čtečky (např. aplikace v telefonu či tabletu s fotoaparát) můžete rychle získat v kódu uloženou informaci, v tomto případě URL dané webové stránky. Více viz např. [https://cs.wikipedia.org/wiki/QR\\_kód](https://cs.wikipedia.org/wiki/QR_kód).



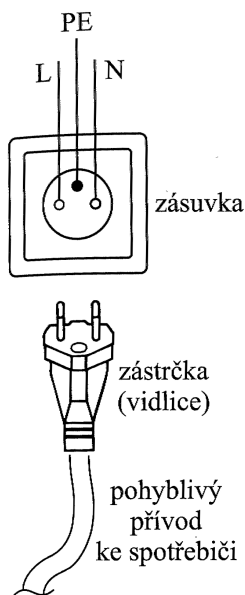
(f) Zásuvky 230 V a 400 V



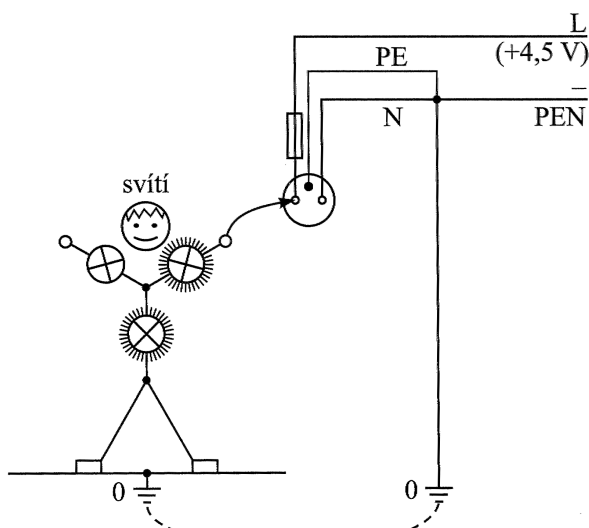
(g) Zapojení vodičů do vidlice síťové šňůry



(h) Ilustrace zobrazující měření zemního odporu pro ověření funkce bleskosvodu



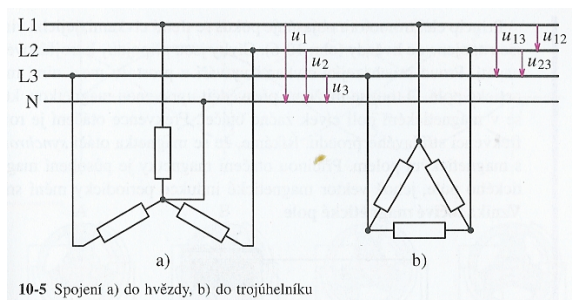
Obr. 88



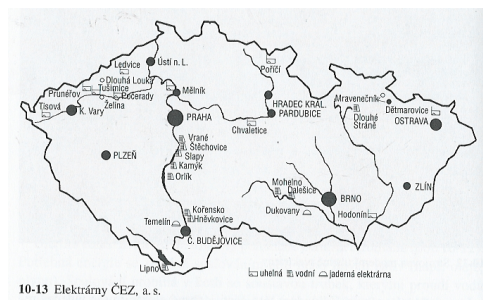
Obr. 89

(i) Zapojení zásuvky a ilustrace úrazu elektrickým proudem

Obrázek 2.1: Obrázky z učebnic fyziky pro základní školu a víceletá gymnázia



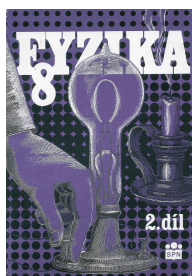
(a) Zapojení třífázových spotřebičů



(b) Elektřárny v ČR

Obrázek 2.2: Ukázky obrázků týkající se rozvodné soustavy z učebnice pro SŠ

### Fyzika 8 pro základní školy, II. díl (SPN)



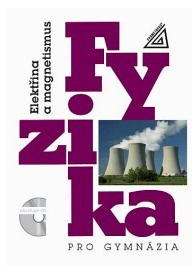
Nyní oprášíme starší verzi učebnice fyziky pro 8. ročník ZŠ z počátku 90. let minulého století. Učebnice (Macháček, 1992) je totiž vzorným příkladem toho, že netriviální elektrotechnické střípky týkající se rozvodné soustavy lze podat žákům přístupným a současně věcně správným způsobem. Obrázek 2.1(h) na straně 7 zachycuje měření zemního odporu pro ověření stavu bleskosvodu. Ne, opravdu to není příručka pro revizní techniky!

### Elektrotechnika kolem nás pro ZŠ (Fortuna)



Zcela vybočující je učebnice (Janda, 2008) určená pro výuku praktických činností na ZŠ. V ní autor velmi přehledně a srozumitelně představuje základy elektrotechniky, zabývá se elektrickou instalací a spotřebiči v domácnostech. Precizně pojmal výklad o úrazech elektrickým proudem, což dokládá obrázek 2.1(i) na straně 7. Kéž by takovými „základoškolskými“ znalostmi alespoň částečně oplýval absolvent běžné střední, či vysoké školy!

### Elektřina a magnetismus pro SŠ (Prometheus)



S výukou elektřiny na střední škole je spjata učebnice (Lepil, 2000) z ucelené řady Prometheus. Zde se již předpokládá dobré povědomí o praktických aplikacích elektrotechniky ze ZŠ, v učebnici je proto celkem přirozeně kladen důraz na teoretičtější rozbor a popis jednotlivých jevů, matematizaci, zobecnění a formulaci fyzikálních zákonů a informace z bezprostřední elektrotechnické „praxe“ jsou tak zastoupeny méně. Obrázky 2.2 na straně 8 ilustrují kapitolu *střídavý proud v energetice*.

Následující zdroje obsahují pokročilejší penzum informací. Jsou určeny učitelům pro bezbřehé „nasávání“ inspirace, ale i případným zájemcům z řad žáků.

## Střídavé proudy (výukový a metodický text) (Žilavý, 2012)

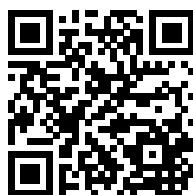
↪ [http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/stridave\\_proudy.pdf](http://kdf.mff.cuni.cz/projekty/oppa/stridave_proudy.pdf)



Vlajkovou lodí tématu je publikace se skromným názvem *Střídavé proudy*, která má mohutný záběr – věnuje se důkladnému výkladu střídavých veličin, jejich měření v širokých souvislostech<sup>2</sup>, zkoumá výkon v obvodech se střídavým proudem, viz obrázek 2.3(a) na straně 10, a konečně se věnuje i elektrickým rozvodům, jejichž funkce je demonstrována na aktualizované elektromontážní soupravě, o níž bude zmínka později. Na obrázku 2.3(b) na straně 10 je fotografie otevřeného proudového chrániče, jehož princip je v příručce kompaktní velikosti přístupně diskutován.

## Elektrina a magnetismus v praxi (Krynický, 2015)

↪ <http://www.realisticky.cz/kapitola.php?id=60>



Touha přispět ke srozumitelnému výkladu fyziky autora autentických metodických textů projektu [realisticky.cz](http://www.realisticky.cz) se projevila i v kapitole *Elektrina a magnetismus v praxi*. Elegantně podávané informace nejen k tématu střídavý proud v energetice, ale i rozbor možností ochrany před vznikem úrazu elektrickým proudem. Nechme hovořit obrázky 2.3(c), 2.3(d) na straně 10.

## Z Piskačova fyzikálního šuplíku: zkrat (Piskač, 2011)

↪ <http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/pretazene/zkrat.pdf>



Piskačův šuplík nás inspiruje k průpravné aktivitě, která zcela průzračně ukotví pojem *zkratu*, viz obrázky 2.3(e), 2.3(f) na straně 10. Leckdy povrchní povědomí o tom, co je to zkrat, lze s pomocí jednoduchých pomůcek přetavit v jasně ukotvený pojem. Hned je pak zřejmá skutečnost, že pojistka (či jistič) při „vyzkratování“ zásuvky člověkem opravdu nepomůže.

## Praktická elektrotechnika ve výuce fyziky (Vejmelka, 2015)

↪ [http://jcmf.upol.cz/soutez2015/pdf/bp/vejmelka\\_lukas\\_prakticka\\_elektrotechnika\\_ve\\_vyuce\\_fyziky.pdf](http://jcmf.upol.cz/soutez2015/pdf/bp/vejmelka_lukas_prakticka_elektrotechnika_ve_vyuce_fyziky.pdf)

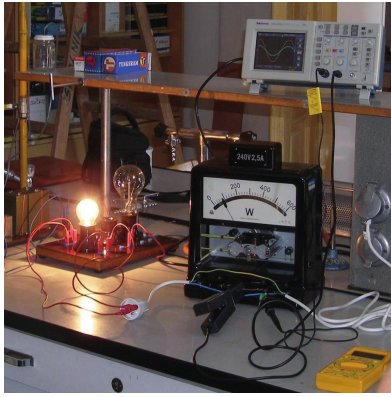


Běžné experimenty a měření z elektřiny na neběžných pomůckách, tak by se dal charakterizovat text, který vznikl jako bakalářská práce<sup>3</sup>. Měření přechodových odporů kontaktů v zásuvkách, spínačích; proměření prodlužovacích přívodů, zkoumání elektrické zásuvky jako zdroje, či charakteristické hodnoty průběhů napětí. Obrazem viz 2.3(g) na straně 10.

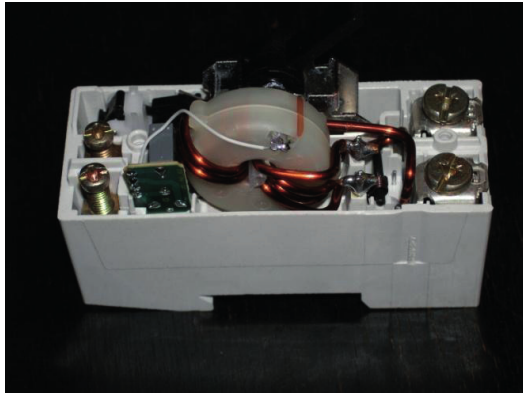
V následujícím textu se zaměříme na online dostupné encyklopedie.

<sup>2</sup>Dozvíte se například, jak si nevědomky nevyzkratovat generátor.

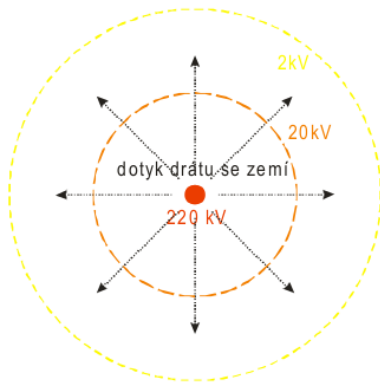
<sup>3</sup>Tato diplomová práce na zmíněnou bakalářskou práci volně navazuje.



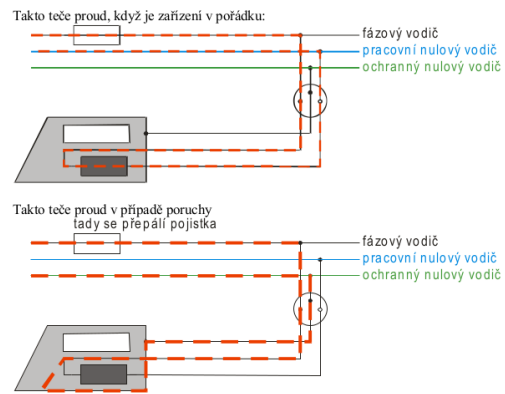
(a) Měření příkonu wattmetrem



(b) Nahlédnutí dovnitř proudového chrániče



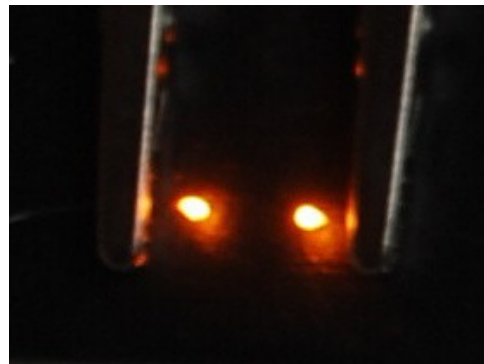
(c) K vysvětlení krokového napětí



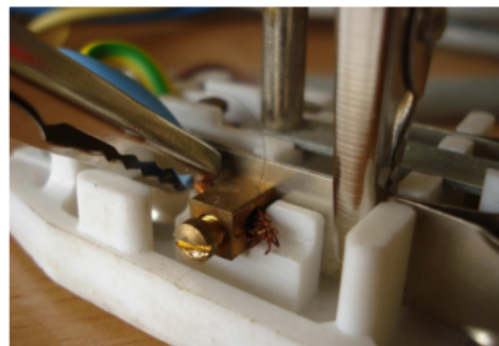
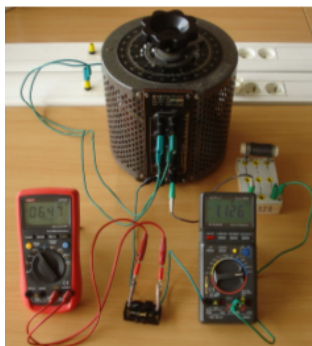
(d) Vysvětlení funkce ochrany spotřebiče



(e) Poznáváme okolnosti zkratu



(f) Přepálení pojistky při zkratu



(g) Měření přechodového odporu zoxidovaných kontaktů vypínače a zásuvky

Obrázek 2.3: Ukázky z dalších materiálů doplňujícího a rozšiřujícího charakteru

## 2.2 Online encyklopedie

### Multimediální encyklopedie fyziky (Reichl, 2016)

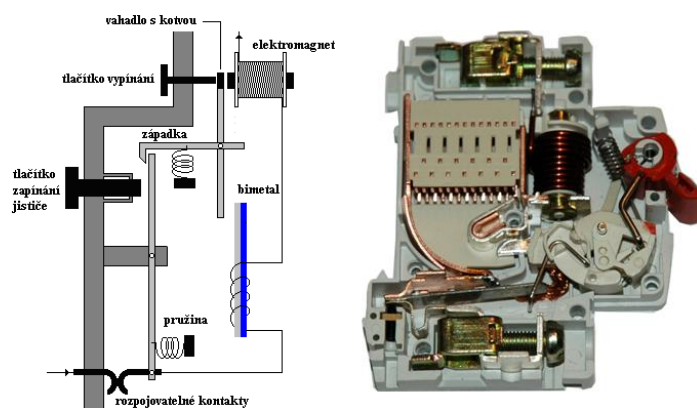
↔ <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/322-stridavy-proud-v-energetice>



Multimediální encyklopedie k tématu rozvodných sítí přispívá kapitolou *Střídavý proud v energetice*. Části, které jsou převzaté z učebnic, jsou často doplněny multimediálním obsahem (fotografie z praxe) a bývají fyzikálně správné. Bohužel však některá témata jsou kompilátem různých zdrojů a zjevně obsahují zavádějící informace až chyby. Ilustrujme to dvěma citacemi z podsekcce *Ochrana před úrazem elektrickým proudem*.

- „Důležité je si uvědomit, že každá ochrana se dává na fázový vodič – střední vodič nesmí být nikdy přerušen!“ Informace týkající se vodiče PEN v síti TN-C je zde nepřesně formulována. Střední vodič je kupříkladu v síti TN-S běžně přerušován dvoupólovými spínači, jističi, či proudovým chráničem.
- „Pokud dojde k náznaku poruchy (vodič začne korodovat, „uhnívat“) změní se jeho odpor, což se projeví změnou jednoho z proudů  $I_1$  nebo  $I_2$ . Magnetické pole v jádře nebude už nulové, ale bude proměnné.“ Z této formulace vyplývá, že autor sice porozuměl funkci součtového transformátoru, ale už zcela nerozumí situaci, jak může souviset „uhnílý“ drát s rozdílem velikostí proudů  $I_1, I_2$ .

Čerpat tato specializovaná témata z uvedené multimediální encyklopedie a podobných zdrojů je proto možné pouze s opatrností. Uvedená situace je pochopitelná, do rozvoje portálu se totiž zapojují i studenti střední školy. Stojí ale k zamýšlení, jestli se do pojednání o těchto tématech vůbec pouštět, mají-li být vágní. Vyjádření typu „Poruchy, které v systému TN-C vedly k úrazu, jsou v tomto systému již bezpečné.“ bez konkrétní ukázky, proč je tomu tak<sup>4</sup>, čtenáři vůbec neumožní si něco užitečného odnést.



Obrázek 2.4: Jistič a jeho idealizované schéma z encyklopedie (Reichl, 2016)

<sup>4</sup>Nehledě na to, že vodič PEN se může za určitých okolností přerušit i při používání sítě TN-S (před jeho rozdělením na vodiče PE a N) a je to podobný „průšvih“ jako v síti TN-C.

## Encyklopedie energetiky (ČEZ, 2014)

↔ <https://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/pro-pedagogy/materialy-pro-vyuku/tiskoviny/24.html>



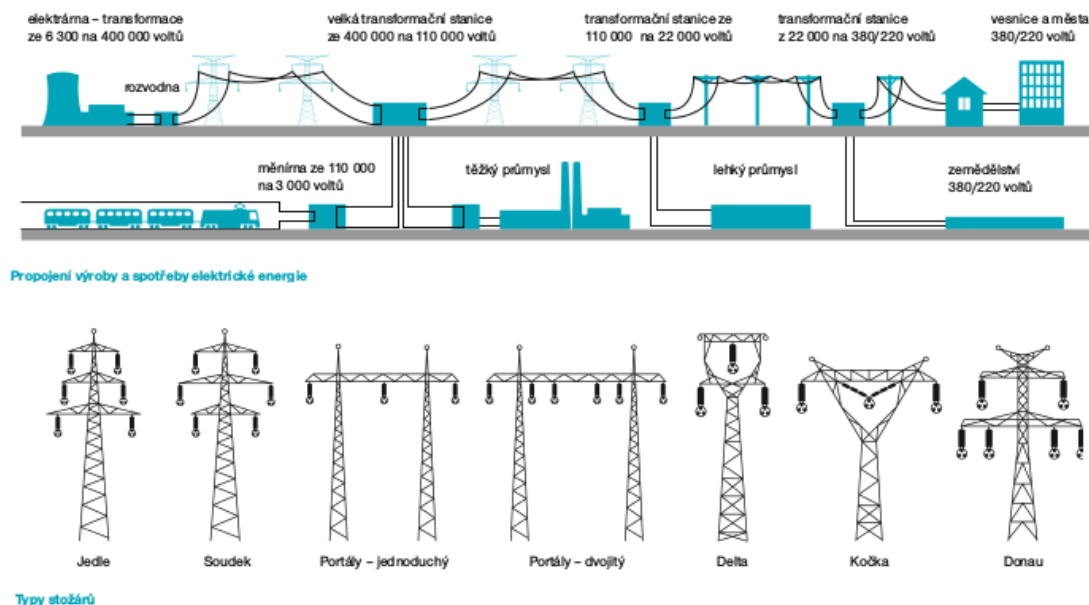
Velice zdařilými dílem v sekci materiály pro výuku na portálu ČEZ je encyklopedie energie, která zahrnuje šest dílčích publikací, z níž je pro nás zajímavá publikace *Elektrina*, jejíž kapitola *Drátěné cesty* souvisí s tématem této práce. Jednotlivé části lze stáhnout v tiskové kvalitě ve formátu pdf, navíc je lze prostřednictvím formuláře na stejných stránkách objednat.

Na webu ČEZ existují i různé starší stejně zdařilé verze, toto téma původně zpracovává stejnojmenná encyklopedie *Elektrina* z počátku tohoto století (Kusala, 2003), nicméně pouze v podobě webových stránek.

↔ <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/elektr.htm>

Speciálně odkazujeme na kapitolu *Z elektrárny do zásuvky*, která se opět váže k tématu této práce.

Ukázky z encyklopedie jsou na obrázku 2.5. V horní části je schéma přenosu elektřiny od elektrárny ke koncovým odběratelům různých typů, v dolní části pak nalezneme přehled jednotlivých druhů stožárů. Pro praxi běžného člověka věc nepotřebná, nicméně nelze zamítnout, že je z estetického hlediska vskutku pohledná.



Obrázek 2.5: Graficky kvalitně zpracované ilustrace z encyklopedie *Elektrina*

Následovat bude krátké ohlédnutí k beletristicky laděné elektrotechnické literatuře poloviny minulého století.



## 2.3 Historické a poučné knihy

Následující knihy historické povahy beletristickým způsobem zpracovávají elektrotechnická témata, přičemž přirozeně integrují předpisy a normy. Tyto předpisy samozřejmě odpovídají příslušné době, přesto se stává čtení těchto knih inspirujícím a povznášejícím; patrně překvapuje ono ladné skloubení chladnosti předpisů s horoucí příběhovostí. Nabízí se otázka, zda máme i v současné době nějaká díla, která takovýmto způsobem interpretují nynější předpisy. Jsou to snad populárně naučné články v technických sekcích zpravodajských serverů?

### Světlo zhaslo, co teď? (Kačerovský, 1958)



Populárně naučná „knížečka“ nejen o pojistkách a opravách šňůr byla určena všem uživatelům elektřiny v domácnosti. Ti jsou pak elektrotechnicky „dovzděláváni“ díky možnosti naslouchat několika večerním dialogům pana „všeznála“ Boroka s pracovníkem elektrorozvodných závodů nad šálky dobré kávy. V průběhu vyprávění jsou představeny také zásady první pomoci při zásahu elektrickým proudem. Vydání aktualizované verze pro současnou dobu by byl jistě dobrý počín, pokud by ovšem ne-reflektovala trend současné doby: *Něco zhaslo – koupí se nové!*

### Elektřina slouží i škodí (Soukup, 1959)



Dobou, tématem i zpracováním jde s předchozí knihou ruku v ruce publikace s podtitulem *Výklad elektrotechnických předpisů v zrcadle skutečných příběhů*, tentokrát určena ne tak širokému okruhu čtenářů. Na příkladech z praxe – v dějišti skutečných příhod, jsou ukázány chyby, kterých se dopouštíme při instalaci, obsluze i údržbě elektrických zařízení. Každý příběh je důkladně rozebrán, aby bylo i četným odborníkům zřejmé, proč je důležité důsledně zachovávat příslušné elektrotechnické předpisy.

### Jiskra, která dobyla světa (Holan, 1936)

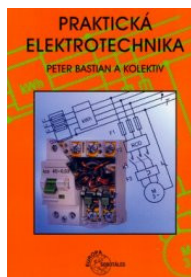


O generaci starší je kniha s názvem *Jiskra, která dobyla světa* se strhujícím podtitulem *Hovory o elektřině pro dospívající mládež*. V této době byla elektřina pro dospívající mládež ožehavým tématem, pro usnadnění diskuzí bylo možné vzít k ruce tuto příručku, která má populární charakter a komplexním způsobem shrnuje výdobytky technického pokroku v aplikačních oblastech elektřiny. Podotkněme, že ilustrační složka a její sladění s textem je z dnešního hlediska obdivuhodná.

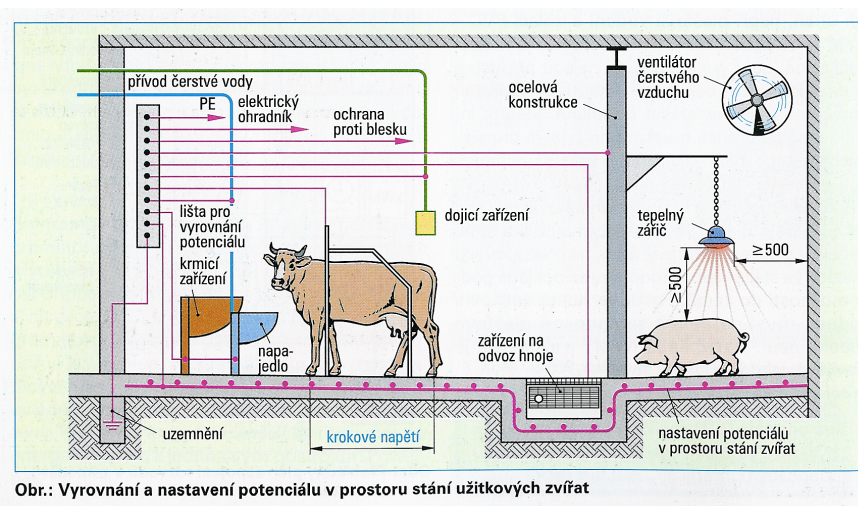
Všechny uvedené tituly jsou k dispozici např. v Národní technické knihovně. Při neutuchajícím zájmu jsou díla k dostání v antikvariátech. Nyní bude následovat krátký přehled literatury odborného zaměření, z něhož lze čerpat v případě, kdy se nechceme spokojit s produktem didaktických transformací, ale potřebujeme precizní informaci o tom, jak se věci z odborného hlediska mají. Při takovém postupu je samozřejmě nutné extrahovat fyzikální jádro od normativních statí a terminologických nomenklatur.

## 2.4 Skripta, učebnice, publikace odborného zaměření

Praktická elektrotechnika (Bastian, 2004)



Z tištěných publikací odborného charakteru vyberme *Praktickou elektrotechniku*, která je překladem německé *Praxis Elektrotechnik*. Téměř třísetstránková kniha pojednává o všech významných okruzích problémů elektrických zařízení a energetiky, přičemž klade důraz na v praxi důležité odborné informace. K pochopení látky pomáhají stovky obrázků, schémat, diagramů a tabulek. Jako příklad uveďme schéma na obrázku 2.6. Autoři dbali na zahrnutí platných evropských a DIN norem, závazná a důležitá pravidla jsou zvýrazňována v rámečcích. Tematický záběr knihy je velmi široký, od bezpečnosti, přes instalaci kabelů či satelitů a typy stykačů, ke schématu mikrovlnné trouby či automatické pračky. Publikaci lze doporučit, pro její „barevnost“ například i k čerpání pro výuku fyziky. [Podle Vejmelka (2015)].

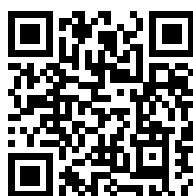


Obr.: Vyrovnání a nastavení potenciálu v prostoru stání užitkových zvířat

Obrázek 2.6: Ilustrace k výkladu vyrovnání potenciálu v prostoru stání zvířat

Rozvodná zařízení (Orságová, 2007)

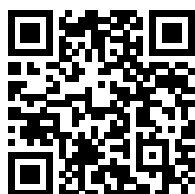
↪ [http://home.zcu.cz/~tesarova/PEC/Soubory/RZ\\_2007.pdf](http://home.zcu.cz/~tesarova/PEC/Soubory/RZ_2007.pdf)



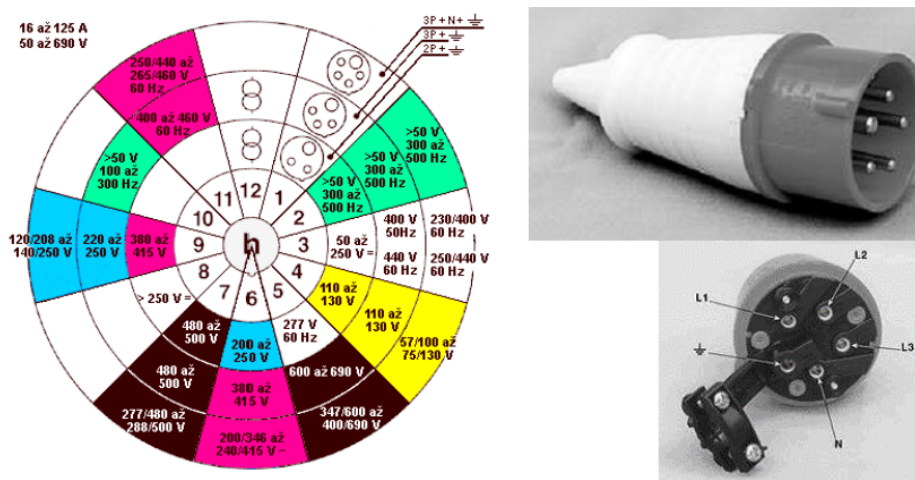
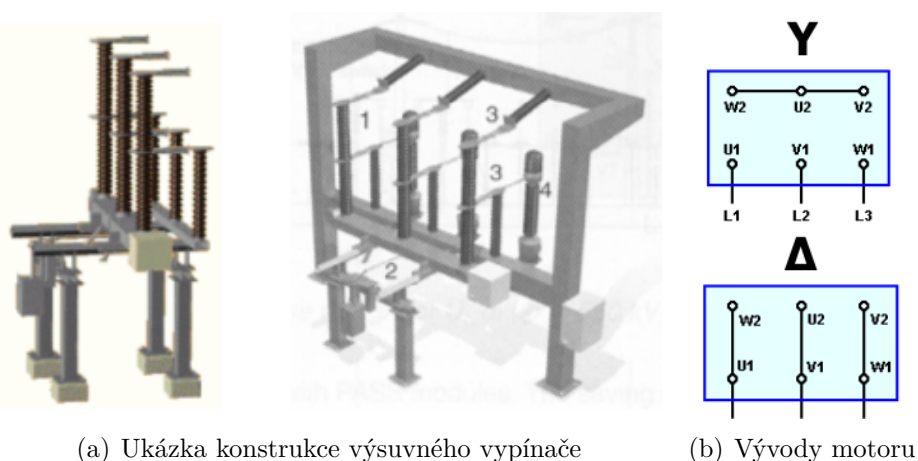
Skriptum *Rozvodná zařízení* je určeno druhému ročníku bakalářského studijního programu Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika Fakulty elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně. Cílem autora je především seznámit studenty s aktuální technologií užívanou pro rozvod elektrické energie. Text je věnován přenosové a rozvodné soustavě, rozvodným zařízením, výpočtům dimenzování, jistění a vedení vodičů. V jedné části skripta například zjistíte, co je to stavová rovnice zavěšeného vodiče, v další si pak připomenete odvození průhybové křivky vodiče – řetězovky. Výklad je doplněn četnými ilustracemi, na obrázku 2.7(a) na straně 15 je vyobrazen konkrétní model kompaktního vypínače.

## Technická praktika elektro (Drtna, 2009)

↔ <http://www.media4u.cz/mmX22009.pdf>



Doplňující text nazvaný *Technické praktikum elektro*, vzniklý na Pedagogické fakultě Univerzity Hradec Králové, je mnohem více než pouhý doplňkový materiál ke stejnojmennému předmětu. Nabízí totiž přehledně zpracovaná elektrotechnická témata a může sloužit i jako podklad k sestavování provozního řádu elektrotechnické laboratoře. Velké množství tabulek, grafů, schémat a srozumitelných pojednání dělá z textu elektrotechnickou příručku, po které lze sáhnout v případě, kdy potřebujeme znát význam určitého označení, barvy, či potřebný průměr vodičů pro dané zatížení nebo maximální délku vedení pro zachování ochrany samočinným odpojením od zdroje. Pro vytvoření mostu mezi školskou fyzikou a elektrotechnickou praxí lze například ukázat, jakým způsobem bývají vyvedeny vinutí třífázového motoru, aby bylo možné snadno volit konfiguraci zapojení trojúhelník/hvězda, a to bez složitého „drátování“, viz obrázek 2.7(b), převzatý z části věnující se označování vstupních a výstupních svorek na elektrických předmětech. Zajímavé jsou i tzv. „hodiny nezaměnitelnosti“ na obrázku 2.7(c).



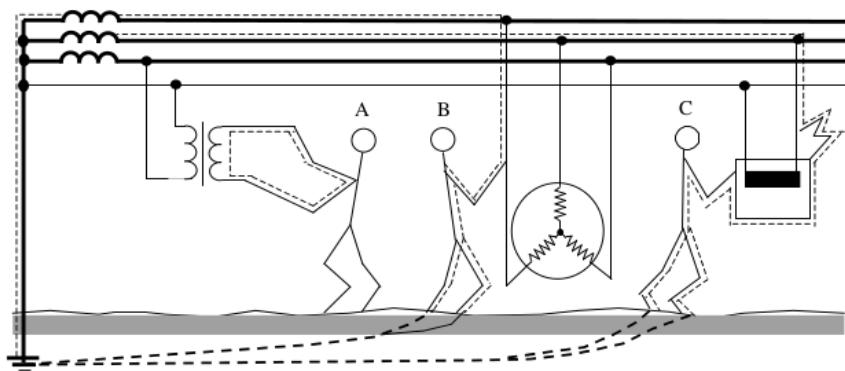
Obrázek 2.7: Ukázky z odborných textů souvisejících s tématem rozvodné sítě

## Druhy rozvodných sítí (Meduna, 2009)

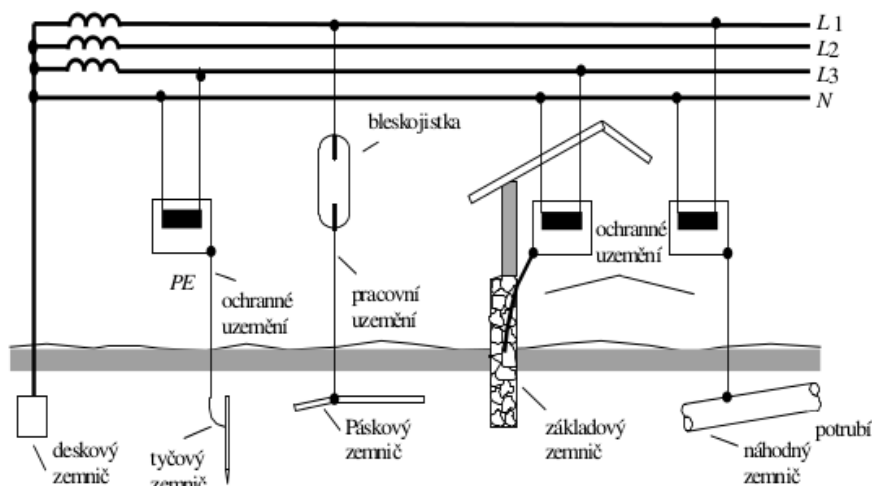
↔ [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred\\_ZEP/siteF.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred_ZEP/siteF.pdf)



Potřebujeme-li přijatelným způsobem podanou a současně odborně správnou informaci týkající se terminologie střídavých i stejnosměrných rozvodných sítí, jistě neuděláme chybu, sáhneme-li po informačním „koncentrátu“ vzniklém na katedře obecné elektrotechniky Vysoké školy báňské v Ostravě. Ve čtrnáctistránkovém textu nalezneme všeobecné termíny týkající se ochrany před úrazem elektrickým proudem. Z této části pro ukázkou uvedme obrázky 2.8, který schematicky zobrazuje výčet možných typů nebezpečného dotyku a dále typy uzemnění. Ve zbylé části textu je prezentována terminologie střídavých i stejnosměrných sítí.



(a) Schematické znázornění různých situací nebezpečných dotyků



(b) Schematický přehled typů uzemnění a zemničů

Obrázek 2.8: Ukázky z odborných textů souvisejících s tématem rozvodné sítě

Zde zakončíme oddíl odborně zaměřené literatury, která se školskou fyzikou prvotně nesouvisí. Učitel v ní ale může čerpat informace k potřebnému nadhledu nad vyučovanými tématy, případně promítnutím některého z obrázků nebo tabulek jednou za čas „ochutit“ běžnou výuku elektřiny a magnetismu.

## 2.5 Zajímavé články

Spoustu aktuálních informací k tématu rozvodných sítí lze nalézt ve člancích na serverech odborně zaměřených na energetiku, elektrotechniku a na obory jim příbuzné. Budeme uvádět přímé odkazy, při případné změně URL se můžete články pokusit dohledat pomocí klíčové fráze. Počínaje touto kapitolou se přímá citace všech webových zdrojů vztahuje ke dni 6.7.2017.

### Jevy v rozvodné síti

- **ZKRATY V ELEKTRICKÝCH SÍTÍCH:** Podíváme se zkratu na zoubek!

↔ <http://oenergetice.cz/technologie/zkraty-v-elektrickych-sitich/>

- **ELEKTRICKÝ OBLOUK:** Jak vzniká a jak se zháší?

↔ <http://oenergetice.cz/technologie/elektricky-oblouk/>

- **KOMPENZACE JALOVÉHO VÝKONU:** Hrozí pokuta za špatný účiník?

↔ <http://elektrika.cz/data/clanky/kompensace-jaloveho-vykonu/view>

### Rozvodné síť

- **ELEKTRICKÉ OCHRANY V SOUSTAVÁCH NÍZKÉHO NAPĚTÍ – 1. DÍL: POJISTKA**

↔ <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/elektricke-ochrany-v-soustavach-nizkeho-napeti-pojistka/>

- **ELEKTRICKÉ OCHRANY V SOUSTAVÁCH NÍZKÉHO NAPĚTÍ – 2. DÍL: JISTIČ**

↔ <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/elektricke-ochrany-v-soustavach-nizkeho-napeti-jistic/>

- **FÁMY A MÝTY O CHRÁNIČI:** Víme přesně k čemu je a k čemu není?

↔ <http://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/famy-a-povery-takjici-se-proudovych-chronicu>

- **DRUHY SÍTÍ A DEFINICE POJMŮ:** Čím se liší síť TN, IT a TT?

↔ <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/rozvodne-site-tn-it-tt/>

- **SCHUKO A ČESKÁ REPUBLIKA:** Proč u nás nejsou SCHUKO vidlice?

↔ <http://elektrika.cz/data/clanky/proc-mame-v-cesku-kolik-a-ne-schuko/view>

- **NÁZVY ROZVODNÝCH SOUSTAV:** Už se v těch písmenech nezamotáme!

↔ <http://elektrika.cz/data/clanky/nrs031023/view>

- **TERMINOLOGIE VODIČŮ:** Máme jasno v názvech vodičů?

↔ <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/terminologie-pro-elektricke-instalace-vodice-stredni-nulovy-nulovaci-neutralni-a-pen-13455>

- **MĚŘENÍ IMPEDANCE SMYČKY:** Představíme si situaci a princip měření.

↔ <http://elektrika.cz/data/clanky/69lkis-1-oc-jde-pri-mereni-impedance-smycky/view>

- **OCHRANA PŘED NEBEZPEČNÝM DOTYKEM ŽIVÝCH ČÁSTÍ: Jak na to?**  
↔ <http://elektrika.cz/data/clanky/lpe-ochrana-pred-nebezpecnym-dotykem-zivych-casti/view>
- **OCHRANA PŘED NEBEZPEČNÝM DOTYKEM NEŽIVÝCH ČÁSTÍ: Jak na to?**  
↔ <http://elektrika.cz/data/clanky/lpe-sb-08-2-14-kontrola-ochran-elektrickyh-zarizeni-pracovnich-stroju-ve-vazbe-na-novou-radu-csn>
- **DOTYKOVÝ PROUD: Specifikujeme tento pojem.**  
↔ <http://elektrika.cz/data/clanky/dotykovy-proud-u-spotrebice>
- **CO SKRÝVÁ ELEKTRICKÁ ZÁSUVKA: Před čím a jak jsme chráněni?**  
↔ <http://kdf.mff.cuni.cz/zilavy/clanky/zasuvka.pdf>

## Distribuční a přenosová soustava

- **ELEKTRICKÉ STOŽÁRY ANEB POZNÁŠ KOČKU NA POLI? Článek o stožárech.**  
↔ <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/elektricke-stozary-aneb-poznas-kocku-na-poli/>
- **PŘENOSOVÁ A DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA: Obecně z pohledu ČR a Evropy.**  
↔ <http://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13676-prenosova-soustava-elektricke-energie>
- **HISTORICKÝ VÝVOJ PŘENOSOVÉ SOUSTAVY V ČR: Aneb jak přibývaly dráty.**  
↔ <http://energetika.tzb-info.cz/elektroenergetika/13645-vznik-a-vyvoj-prenosove-soustavy-elektricke-energie>
- **PŘENOSOVÁ SOUSTAVA ČR: Základní údaje a mapa.**  
↔ <https://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Technicka-infrastruktura/Stranky/Udaje-o-PS.aspx>

## Speciální témata

- **O KVALITĚ ELEKTRICKÉ SÍTĚ: Jaká rušení sítě existují?**  
↔ <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/kvalita-elektricke-energie/>
- **HROMADNÉ DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ: Jak to funguje a proč to vzniklo?**  
↔ <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/hdo-smart-grid-fungujici-jiz-pul-stoleti/>
- **PRVNÍ VEŘEJNÉ ELEKTRICKÉ OSVĚTLENÍ: Letos slavíme výročí!**  
↔ <http://oenergetice.cz/elektrina/pred-130-lety-se-na-uzemi-cr-rozsvitulo-prvni-verejne-elektricke-osvetleni/>
- **POHOTOVOSTNÍ SPOTŘEBA ENERGIE: Seznámení s výsledky měření „standby“.**  
↔ <http://elektro.tzb-info.cz/domovni-elektroinstalace/6274-pohotovostni-spotreba-energie-standby-vysledky-mereni-stovek-spotrebicu>

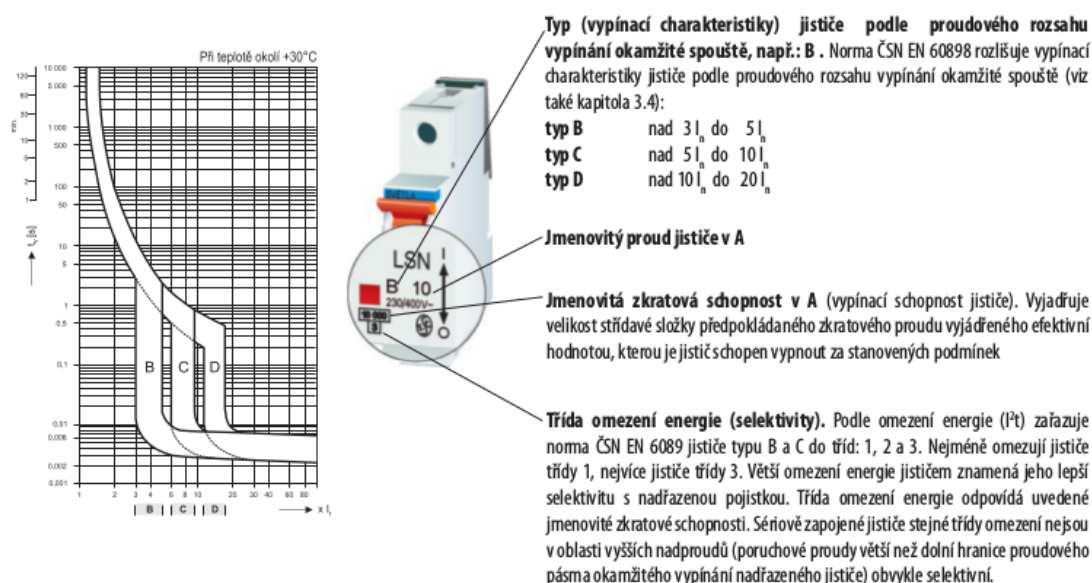
## 2.6 Příručky a katalogy

### Příručky pro elektrikáře

↔ [http://www.bqz.sk/download/\\_info/oez\\_prirucka\\_elektrikare\\_web.pdf](http://www.bqz.sk/download/_info/oez_prirucka_elektrikare_web.pdf)



Mnoho informací lze nalézt v různých příručkách určených pro elektrikáře. Často přímo výrobci elektroinstalačního materiálu vybavují své potenciální odběratele dokumenty s přehledně zpracovanou problematikou instalace jimi dodávaných produktů. Příkladem může být *Příručka pro elektrikáře* firmy OEZ, z níž uvádíme ukázkou na obrázku 2.9, v které jsou přehledně zpracována i témata související s instalací jističů a proudových chráničů.



Obrázek 2.9: Charakteristiky jističů a význam jejich jmenovitých parametrů

### Produktové katalogy

Potřebujeme-li například při budování konkrétního experimentu zjistit parametry vyráběných spínačů, jističů nebo proudových chráničů, je potřeba nahlédnout do nabídek výrobců elektromateriálů. Katalogy často kromě jmenovitých hodnot proudů, napětí a časů obsahují i zajímavé grafy a informace z praxe.

- Jističe, proudové chrániče, motorové spínače (Schrack): katalog produktů

↔ <http://image.schrack.com/produktkataloge/ckajist08.pdf>

- Jističe (Hager): navíc podrobné technické údaje

↔ <http://www.ceha-kdc.cz/eshop/cat/15/15-02-092-21060.pdf>

- Proudové chrániče (Schrack): navíc popsána teorie související s chrániči

↔ <http://image.schrack.com/produktkataloge/czkatprodutchrn.pdf>

Pokud jsou odkazy již nefunkční, vyhledávejte produkty značek: OEZ, BONEGA, HAGER, SIEMENS, EATON, NOARK, aj.

## 2.7 Zdroje experimentů



**Sbírka fyzikálních pokusů (Kácovský, 2015).** Obsahuje podrobně popsané experimenty, včetně metodických komentářů a realizací pokusů na obrázcích a videích. V této sbírce nalezneme např. experiment s *růžkovou bleskojistkou*, ochranným prvem rozvodné sítě.

↪ <http://fyzikalnipokusy.cz/900/ruzkova-bleskojistka>



**Sborník nápadů učitelů fyziky (Koupilová, 2016).** Sdružuje invenční tvorbu prezentovanou na Veletihu učitelů fyziky. Některé příspěvky ze sekce elektřiny a magnetismu se týkají výroby elektrické energie, střídavých proudů nebo elektrických spotřebičů.

↪ [http://vnuf.cz/sbornik/temata/Elektrina\\_a\\_magnetismus\\_\(4\).html](http://vnuf.cz/sbornik/temata/Elektrina_a_magnetismus_(4).html)



**Praktikum školních pokusů II. (Koudelková, 2016).** Na webu s doplňkovými materiály k „elektrickému“ praktiku naleznete odkazy na dokumenty s popisem školních experimentů. Autoři nabídnou použití zkoušečky, prohlídku jističe nebo dálkový přenos energie.

↪ [http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/doku.php?id=07\\_el\\_stroje](http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/doku.php?id=07_el_stroje)



**Videoexperimenty (Jermář, 2006).** Na přípravu některých experimentů často v praxi nezbyvá čas nebo zkrátka nemáme pomůcky. V takové situaci je můžeme alespoň promítnout. Na následujícím odkaze naleznete experimenty s trojfázovým vedením napětí.

↪ <http://fyzweb.cz/materialy/videopokusy/>

## 2.8 Portály, informační servery

Novinky lze čerpat z následujících zpravodajských a informačních webů:

- [svetenergie.cz](http://svetenergie.cz) Vzdělávací portál ČEZ: aplikace, tiskoviny, fotobanka, filmy.
- [elektrika.cz](http://elektrika.cz) Zpravodajství a rozcestník českých elektrikářů.
- [oenergetice.cz](http://oenergetice.cz) Čerstvé informace ze světa energetiky.
- [elektroprumysl.cz](http://elektroprumysl.cz) Informace ze světa průmyslu a elektrotechniky.
- [energetika.tzb-info.cz](http://energetika.tzb-info.cz) Energetika technického zabezpečení budov.
- [elektro.tzb-info.cz](http://elektro.tzb-info.cz) Elektrotechnika technického zabezpečení budov.
- [odbornecasopisy.cz/elektro/](http://odbornecasopisy.cz/elektro/) Časopis pro elektrotechniku.

## 2.9 Elektromontážní materiál

Materiál pro stavbu pomůcek a pro experimentování lze sehnat:

- [ges.cz](http://ges.cz) Převážně slaboproudé komponenty (sleva ISIC, ITIC).
- [gme.cz](http://gme.cz) Převážně slaboproudé komponenty.
- [elima.cz](http://elima.cz) Silnoproudý elektromateriál.
- [kvelektro.cz](http://kvelektro.cz) Silnoproudý elektromateriál.
- Kamenné prodejny s elektromateriálem v blízkosti vašeho působiště.
- „Sklepy“ rodičů, prarodičů, sousedů a známých elektrikářů.



## 2.10 Online aplikace

Zaujmout mohou webové aplikace, které zobrazují reálná data. Ta mohou popisovat aktuální stav nějakého jevu v rozvodné soustavě. Snadno tak získáme odpověď na otázky typu, jaký výkon elektrické energie je právě nyní importován nebo exportován, či jaká je aktuální cena elektrické energie. Na internetu jsou dostupné následující monitorovací nástroje:



**Modul Energostat.** V interaktivní mapě lze sledovat tok elektřiny mezi státy, po klepnutí na daný stát se zobrazí graf, který ukazuje rozdělení výroby elektřiny podle zdrojů, viz obrázek 2.11(a). Hezký je i časový průběh zastoupení zdrojů, viz obrázek 2.10.

↪ <http://oenergetice.cz/energostat/>



**Live CO<sub>2</sub> emissions of electricity consumption.** Tato interaktivní mapa navíc zobrazuje množství produkovaného CO<sub>2</sub> na 1 kWh v jednotlivých státech a rozsah spalování fosilních paliv. Lze zobrazit i intenzitu slunečního záření a větrné pole. Viz obr 2.11(b).

↪ <https://www.electricitymap.org/?wind=false&solar=false&page=map>



**Transmission System Map.** Interaktivní mapa obsahující trasy evropských vedení napětí 220 kV a výše, včetně elektráren a propojovacích zařízení různých přenosových soustav, viz obrázek 2.11(c)

↪ <https://www.entsoe.eu/map/Pages/default.aspx>

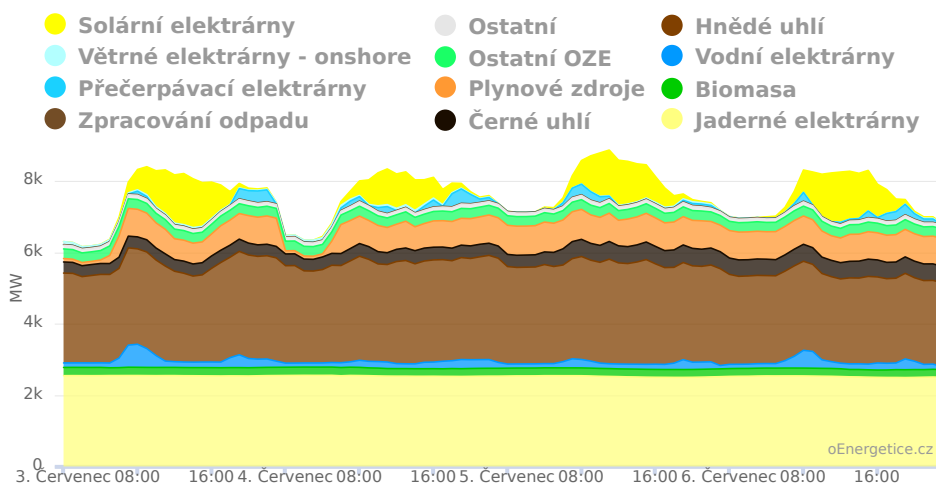


**Přehled výpadků elektrické energie** Plánované odstávky v dodávce elektrické energie v České republice lze sledovat buďto přímo na stránkách svého dodavatele elektrické energie, či lze využít tohoto centrálního webu.

↪ <http://www.vypadky-elektriny.cz/>

### Česká republika: Výroba elektřiny

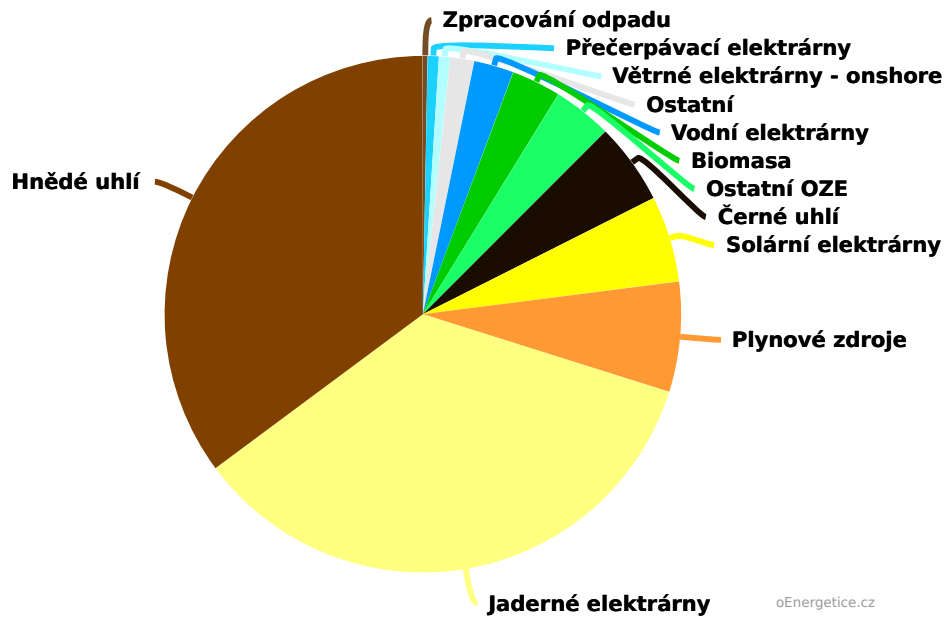
Data od: 3. 7. 2017 do: 6. 7. 2017



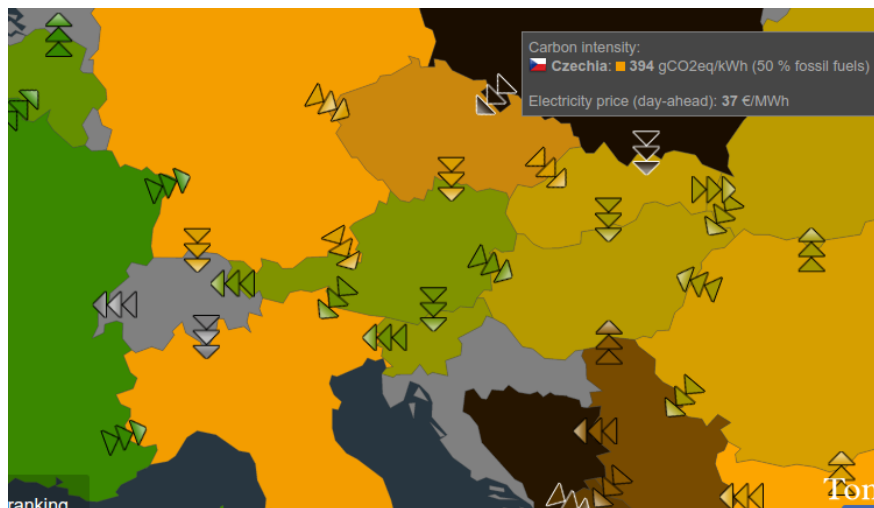
Obrázek 2.10: Časový vývoj rozložení produkce elektrické energie

# Česká republika: Podíl zdrojů na výrobě elektřiny

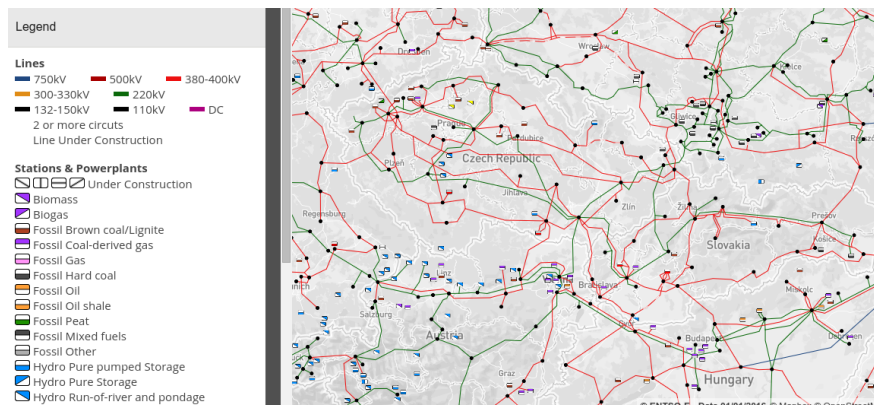
Data od: 1. 7. 2017 do: 7. 7. 2017



(a) Podíl zdrojů na výrobě elektřiny v ČR v daném období



(b) Množství produkovaného CO<sub>2</sub> a podíl spalování fosilních paliv



(c) Interaktivní mapa evropských přenosových soustav

Obrázek 2.11: Online nástroje, monitorovací aplikace a interaktivní mapy

## 2.11 Video

Na internetu lze najít krátká videa s experimenty, výkladové snímky i delší vzdělávací dokumenty. Navíc jsou elektrotechnickým laikům dostupné i různé návody, někdy bohužel pouze „spotřebitelsky“ laděné, viz např. výměnu zásuvky (předposlední odkaz na této straně).

### Elektřina, elektrické sítě

- **PŘÍBĚH ELEKTRINY:** Dokumentární seriál 3x60 min o elektřině.  
↪ <https://www.csfd.cz/film/308889-pribeh-elekriny>
- **HIGH-VOLTAGE DISCONNECT-SWITCH ARCING:** Elektrický oblouk.  
↪ <https://www.youtube.com/watch?v=GMbN9nb3qyk>
- **TŘÍFÁZOVÝ SPOTŘEBIČ „SLOW MOTION“:** Zachycení školního experimentu.  
↪ <https://www.youtube.com/watch?v=VrhRckoKlfc>
- **THE JOURNEY OF ELECTRICAL ENERGY:** Elektrická síť přístupnou formou.  
↪ The Journey of Electrical Energy <https://www.youtube.com/watch?v=-ZBNNcczmDM>

### Ochrana elektrické sítě

- **DO VOLTS OR AMPS KILL YOU? VOLTAGE, CURRENT AND RESISTANCE:** Co je tělu nebezpečné? Vizualizace průchodu proudu tělem.  
↪ <https://www.youtube.com/watch?v=9iKD7vuq-rY>
- **PETER ŽILAVÝ:** Další vzdělávání učitelů fyziky.  
↪ <https://www.youtube.com/watch?v=UzWi82sAH90> (třífázová soustava)  
↪ <https://www.youtube.com/watch?v=dfez7mjSXog> (tajemství ochranného kolíku)  
↪ [https://www.youtube.com/watch?v=glrbxmoYff9iK\\_FLwY4](https://www.youtube.com/watch?v=glrbxmoYff9iK_FLwY4) (střídavé proudy)
- **UNGROUNDED SYSTEM AND NEUTRAL GROUNDED SYSTEM:** Názorná demonstrace rozdílů výhod uzemněné a neuzemněné sítě.  
↪ [https://www.youtube.com/watch?v=moYff9iK\\_QU](https://www.youtube.com/watch?v=moYff9iK_QU)
- **WHAT IS GROUND? EARTH GROUND/EARTHING:** Názorné vysvětlení funkce zemnění z různých hledisek.  
↪ [https://www.youtube.com/watch?v=zLW\\_7TPf310](https://www.youtube.com/watch?v=zLW_7TPf310)

### Ze života ke smrti

- **VÝMĚNA ELEKTRICKÉ ZÁSUVKY:** Video spotřebitelského charakteru.  
↪ <https://www.stream.cz/ondra-kutil/10009056-vymena-elektricke-zasuvky>
- **SMRT NA VLAKU:** Mrazivá odstrašující smrt v přímém přenosu.  
↪ <https://www.youtube.com/watch?v=RoDURjL5b-U>

## 2.12 Odstrašující a varující

Poslední video předchozí sekce nastínilo téma k završení části s informačními zdroji, které se týkají rozvodné soustavy. Podíváme se na materiály, které mohou svým obsahem odstrašit, varovat a poučit.

### Preventivní články



**Bezpečně s elektřinou (Dufková, 2008).** „Pro zprostředkování informací o bezpečnosti je pro děti a mládež nejdůležitější osobou učitel,“ uvádí autorka v článku, který nás alarmuje, abychom zabránili tomu, aby děti hazardovaly se svým životem, např. lezením na stožáry elektrického vedení. Článek obsahuje základní teoretické informace a instruktivně šokující dokumentaci vážných a smrtelných nehod, viz obrázek 2.12(a).

↪ [http://fyzweb.cz/clanky/img/00146/bezpecene\\_s\\_elektrinou.pdf](http://fyzweb.cz/clanky/img/00146/bezpecene_s_elektrinou.pdf)



**Výroba vlastního prodlužovaku (Janata, 2016).** Článek s podtitulem „jedna z možných alternativ spáchání sebevraždy,“ uveřejněný na serveru RC modelářů, je koncipován jako varování před používáním a nekvalifikovanou „výrobou“ prodlužovaku, zde z vojenské telefonní dvojlinky, viz obrázek 2.12(b). Namísto bezobsažného hořekování jsou opravdu doloženy důvody a následky používání takového kabelu.

↪ [http://www.offroad-rc.info/WordPress/?page\\_id=261](http://www.offroad-rc.info/WordPress/?page_id=261)

### Černé kroniky



**Hrobař varuje (Hrobař, 2017).** Tak se jmenuje sekce serveru elektrika.cz, ve které jsou shromažďovány reálné případy se dvěma společnými jmenovateli: nedbalost a smrt. V lepším případě se stihne potenciálně nebezpečná instalace po fotodokumentaci odstranit.



**Elektrikářské kuriozity (Vlček, 2017).** Facebooková skupina, ve které uživatelé sdílí kromě vtípků i fotografie často nebezpečných obskurních instalací a závad. Viz například obrázek 2.12(c).

↪ <https://www.facebook.com/ElektrikarskeKuriozity>



(a) Konečná (trafo)stanice



(b) „Prodlužovák“



(c) Jistič „sedící“ v maltě

Obrázek 2.12: Ukázky obrázků z textů varujícího či odstrašujícího ladění

## Věci, které zaručeně (ne)fungují

Jde o produkty, které se vyznačují propracovanou marketingovou strategií, neuvěřitelnými funkcemi, bezvadnou cenou, bezproblémovým provozem a spoustou spokojených zákazníků<sup>5</sup>. Taková zařízení, nejen z oblasti elektřiny, mohou být nezastupitelnými pomocníky, jak se dočtete v příspěvku z dílen Heuréky (Koudelková, 2014), který diskutuje postavení (ne)fungujících zařízení<sup>6</sup> ve výuce fyziky.



**NucleoSTOP (Nucleo, 2006).** Zařízení, jehož úkolem je filtrování elektrické energie, která byla vyprodukována jadernými zdroji. Krabičku kompaktního rozměru zapojíte do zásuvky a máte jistotu „čisté“ energie. Bohužel její funkci nelze ukázat, NucleoSTOP je totiž fiktivní, jde o satiru šitou na míru odpůrcům jaderné energetiky<sup>7</sup>.



**Power Factor Saver (Saver, 2010).** Mladším bratříčkem předchozího produktu je zařízení *Power Factor Saver*, které již není pouhým snem. Krabičku připojíte do zásuvky blízké elektroměru a začnou se dít zázraky! Paní Marcela z Českých Budějovic teď na energiích měsíčně ušetří 50 %, jak se svěřila na české lokalizaci stránek produktu (Saver, 2010), které zároveň slouží jako e-shop. Argumenty proti faktu znatelnému snížení spotřeby<sup>8</sup> při používání zařízení naleznete v (Koudelková, 2014)[85] a žáci je snadno dají dohromady.

Bylo by chybou říci, že zapojením tohoto zařízení do sítě se nic nestane. Naopak, jde o zajímavou situaci, na které uplatníme mnoho z kapitoly střídavé proudy (kondenzátor, fázový posuv, kapacitní a indukční zátěž, účinník, činný a jalový výkon), mnoho věcí získá souvislosti (motor jako indukční zátěž, RLC obvody) a spousta dalších témat se objeví (jaký výkon měří elektroměr). Nebudeme zatím prozrazovat, co zařízení obsahuje, či co ve skutečnosti dělá. Vodítkem může být produkt propagující video dostupné zde<sup>9</sup>. Do zásuvky je připojen motor, motorem teče proud 1,2 A. Jakmile je do vedlejší zásuvky zapojen *Power Factor Saver*, proud klesne na hodnotu 0,7 A<sup>10</sup>. Takže ze vzorečku  $P = UI$ , který si jistě každý z hodin fyziky pamatuje, a ze skutečnosti, že efektivní hodnota napětí v síti se nemění, vyplývá, že odebíraný výkon ze sítě klesl na cca 60 %. Anebo ne?

<sup>5</sup>Že by učitelé fyziky?

<sup>6</sup>A tentokrát nejsou myšleny vzorně připravené pokusy, jejichž funkčnost je vázána kabinetem fyziky a po přejetí prahu do třídy nefungují.

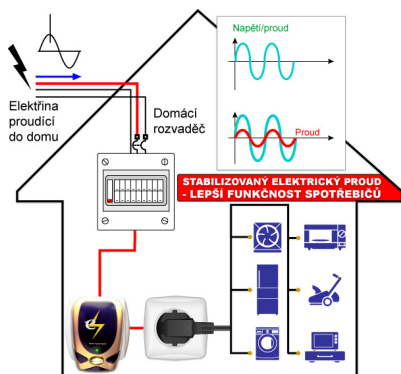
<sup>7</sup>Z „e-shopu“ (Nucleo, 2006), který nikdy neexpedoval žádnou objednávku: „Hinweis: Das Produktangebot NucleoSTOP ist satirisch gemeint, es werden hiermit keine kommerziellen Geschäfte getätigt“. Psáno modrým písmem na modré pozadí.

<sup>8</sup>Ponecháme-li stranou asymptoticky singulární situaci, kdy tímto zařízením osadíme každou zásuvku v domácnosti.

<sup>9</sup><https://youtu.be/q9GjqMbTOH8?t=1m16s>

<sup>10</sup>Podotkněme, že ve videu použité zařízení s displejem mohlo opravdu proud odebíraný ze sítě měřit správně.

Už máte nějaký tip, co by se v krabičce mohlo skrývat? Změřením impedance mezi výstupními svorkami byla zjištěna velká kapacita. Že by tam byl schován „pouze“ nějaký kondenzátor? K rozluštění reálného zapojení a funkce přístroje odkážeme na následující videa:



Obrázek 2.13: Doporučené zapojení výrobce

tory, transformátory a zářivky. Tyto spotřebiče totiž způsobují fázový posun napětí a proudu, tj. snižují účinník. Kompenzace, tj. zvyšování účinníku „opačným“ posuvem, nemá pro maloodběratele hmatatelný význam<sup>12</sup>, přesněji:

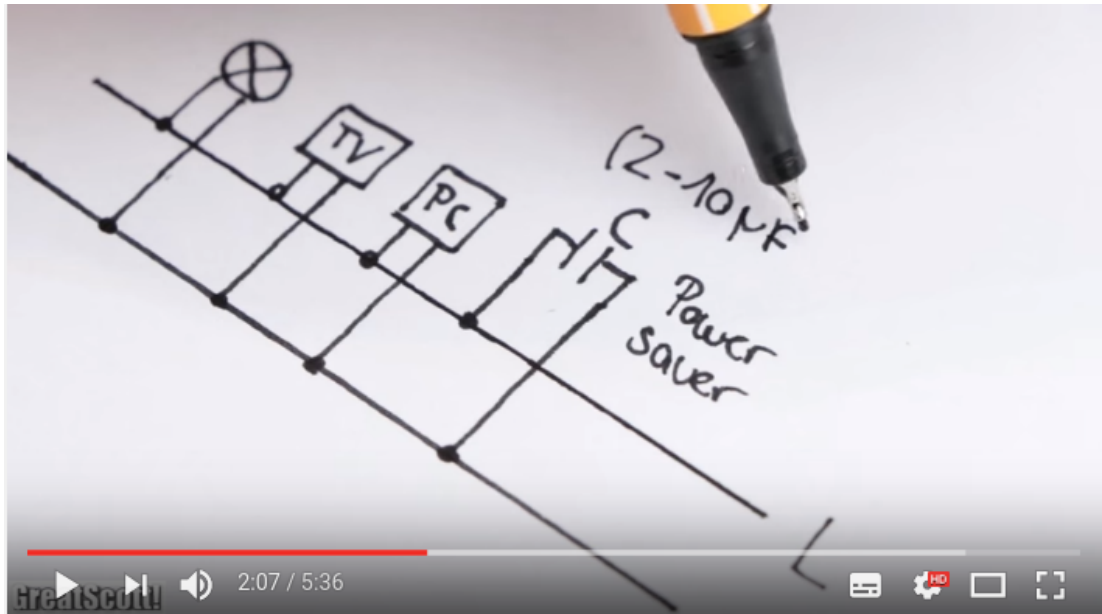
- Horší účinník znamená při požadavku přenesení téhož činného výkonu větší proud vodiči ( $P = UI \cos \alpha$ ), tj. větší tepelné ztráty na vedení, a tedy i větší spotřebu. Tento efekt je pro domácnost typicky zanedbatelný. Není tomu tak ale pro rozvodnou síť v globálním měřítku – nezanedbatelné ztráty na vedení, přetěžování zdrojů a nutné dimenzování na „zbytečně“ velké proudy.
- Klasický indukční elektroměr ve standardním zapojení zaznamenává pouze činnou složku odebíraného výkonu, takže za produkci jalového výkonu odběratel s tímto „kotoučovým“ elektroměrem nic platit ani nemůže.
- Obecně menší účinník při stejném přenášeném činném výkonu znamená, že hlavním jističem musí téci větší proud. Hodnota jističe pak nemusí stačit a ten může při špičkách vypadávat. Řešením může být provoz sítě s „větším“ jističem, za což si ale připlatíme (souvisí se skutečností, že rozvodná síť musí být schopna dodat odběrateli<sup>13</sup> jističem deklarovaný výkon).
- U velkoodběratelů se měří i jalový výkon, resp. účinník. Pokud není účinník ve stanovených mezích, má odběratel možnost buďto účinník kompenzovat (instalovat tzv. kompenzátor – zařízení s kondenzátory), nebo platit za produkovanou jalovou energii (speciální sazba).

Ač se o nich příliš neví, jsou kompenzátory, tedy zařízení s kondenzátory, běžnou a ekonomicky klíčovou součástí rozvodné sítě. Zájemce o problematiku kompenzace v průměru odkážeme například na (Tesařová, 2000).

<sup>11</sup>Některé přístroje kromě kondenzátoru a blikajících diod ještě obsahují přepětovou ochranu.

<sup>12</sup>Případně již dochází ke kompenzaci lokálně ve spotřebičích – např. zářivková světla.

<sup>13</sup>Doslova toho samozřejmě není schopná. Nebo to někdy zkusíme? Třeba 1. ledna 2035 v poledne zapneme všechny spotřebiče co máme a...



Obrázek 2.14: Power Factor Saver v elektrické zásuvce funguje jako kompenzační kondenzátor paralelně řazený s ostatními spotřebiči (Scott, 2016).

## 3. Přehled potřebné teorie

Přehledově uvedeme vybrané partie z elektřiny a magnetismu, jejichž zvládnutí je předpokladem pro dobré porozumění v následující kapitole diskutovaných skutečností. Některé části uváděné teorie mohou překračovat běžnou úroveň učiva, tyto části jsou pak odrazovým můstkem pro hlubší pochopení diskutovaných jevů a doostření četných souvislostí.

V nadnesené rovině lze povahu následujících řádků formulovat jedním kompaktním hlášením:

„*Mé jméno je Amálka a budu Vás na této cestě společně s řidičem Honzou doprovázet. Přehled potřebné teorie bude ve verzi economy, je tedy poskytován bez obrazového servisu. Vybavte se proto fantazií, příslušné popisované experimenty si v průběhu cesty barvitě představujte. Z důvodu četných ze židle zvedajících vágních a lidových vyjádření na naší cestě vás prosím, abyste využili bezpečnostních pásů a připoutali se. S vaším přáním nebo dotazem se na mě neváhejte kdykoli obrátit, vyberu si je zvlášť. A nyní, milí účastníci srazu po šedesáti letech, předávám mikrofon vašemu učiteli fyziky, který nostalgicky zavzpomíná na strukturu své osvědčené výuky . . .*“

„*Děkuji, slečno, já bych měl dotaz právě ohledně těch zásuvek. Jistě jste si všimla, že jde o Schuko verzi. O jakou síť vlastně jde a jaký je průběh napětí mezi zdířkami?*“

Pozn. k Schuko zásuvce<sup>1</sup>

### 3.1 Elektřina

#### 3.1.1 Elektrický náboj, elektrická síla

Z učiva elektrostatiky jsme si přinesli veličinu *elektrický náboj*  $Q$ , který nám popisoval množství určitého „mysteria“, které se na tělesech objevilo, pokud byla něčím třena (třeba liščím ohonem). Byla-li tělesa takto „okouzlena“ (domluvili jsme se, že budeme říkat, že byla *zelektrována*), bylo možné pozorovat jejich vzájemné silové působení. Onu sílu jsme pojmenovali příznačně *elektrická*. Také jsme zjistili, že elektricky nabitá tělesa se mohou jak přitahovat, tak odpuzovat. To bylo zdůvodněno teorií, že existují částice, které nesou kladný nebo záporný elektrický náboj, typicky proton a elektron, přičemž nerovnováha obou typů náboje v tělesech vede k makroskopickým efektům jejich elektrostatického působení.

Velikost vzájemného silového působení dvou bodových nábojů  $Q_1, Q_2$  ve vzdálenosti  $r$  popisuje Coulombův zákon

$$F_e = k \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2},$$

kde  $k$  je konstanta související se silou elektrostatické interakce a s daným prostředím.

<sup>1</sup>Typ zásuvky používaný například v Německu. Zásuvka nemá ochranný kolík, tak jak ho známe. Jeho funkci plní dvojice protilehlých kontaktů. Tyto zásuvky jsou k vidění v některých autobusech, kde slouží k dobíjení zařízení posádky.



### 3.1.2 Intenzita elektrického pole

Elektricky nabité těleso působí na jiná tělesa<sup>2</sup> ve svém okolí elektrickou silou  $\vec{F}_e$ . Říkáme, že vytváří *elektrické pole*. Pro popis tohoto pole lze každému bodu přiřadit vektor síly, kterou elektrické pole působí na vybraný testovací náboj  $q$ . Pro jednoznačnost popisu (někdo jiný si může pro „zmapování“ pole vzít testovací náboj jiné velikosti) jsme stanovili, že elektrické pole bude v daném místě popisovat vektorová veličina *intenzita elektrického pole*  $\vec{E}$ , jež bude mít význam síly, kterou by v tomto místě pole působilo na jednotkový kladný náboj<sup>3</sup>. Odtud tedy definiční vztah

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}.$$

Jde o užitečnou veličinu – např. pro některé látky je stanovena tzv. *dielektrická pevnost*, což je mezní hodnota intenzity elektrického pole v dielektriku, při které dojde k jeho průrazu a stane se tak vodivým. Pro vzduch je tato hodnota přibližně  $30 \text{ kV} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Tj. aby přeskočila jiskra mezi elektrodami indukční elektriky, které mohou být vzdáleny 2 cm, musí mezi nimi být napětí asi 60 kV. Anebo stačí *ionizací* zajistit, aby byl vzduch horším nevodičem, či aby elektrody měly „přitažlivější“ tvar, viz třeba špičky jímacích tyčí hromosvodů. Pak to jde snadněji. Raději si nepředstavujte, co by způsobil ohýnek pod vedením vysokého napětí nebo na vlak lezoucí hazardér, hrající roli elektrody přibližující se k trakčnímu vedení. Proto pozor, vodič může zabíjet, aniž se ho fyzicky dotkneme ...

### 3.1.3 Elektrický proud

Elektrický náboj se může v některých látkách, *vodičích*, volně pohybovat. O tom jsme se přesvědčili při přenášení náboje mezi plechovkami po pletací jehlici nebo mokré špejli, při vybíjení plechovky přes zářivku nebo doutnavku do země, či spojením elektrod indukční elektriky řetězem za ruku držících se lidí. Dochází-li k uspořádanému přesunu elektrického náboje, hovoříme o ději nazývaném *elektrický proud*. Abychom mohli kvantitativně porovnávat „mohutnost“ takových přesunů náboje vodiči (vodivým kanálem blesku ve vzduchu nebo měděnou vrstvičkou na základní desce počítače), zavedli jsme veličinu *elektrický proud*  $I$  vztahem

$$I = \frac{Q}{t},$$

kde  $Q$  je součet absolutních hodnot celkového kladného a záporného náboje prošlého zvoleným průřezem uvažovaného vodiče za čas  $t$ .

S elektrickým proudem se setkáváme na každém rohu: akumulátory mají stanovený maximální nabíjecí proud, aby se nepoškodily, některé nabíječky dokonce umožní tento proud nastavit a v reálném čase jej dokonce zobrazují; řidič tramvaje má na přístrojové desce ampérmetr ukazující hodnoty proudu tekoucí vinutím motoru při zrychlování i brzdění; prodlužovací šňůry nebo zásuvky na sobě mohou mít napsáno maximální proudové zatížení; určité proudy „snesou“ konkrétní

<sup>2</sup>A to i neutrální – v důsledku elektrostatické indukce a jevu polarizace dielektrika.

<sup>3</sup>Při praktickém mapování by bylo nutné volit náboj  $q$  dostatečně malý, aby nezměnil rozložení náboje na „zdrojových“ tělesech.

žárovky, diody, pojistky i jističe; proud lidským tělem, překročí-li bezpečnou hodnotu, může být smrtelný, atd.

### 3.1.4 Elektrické napětí

Stejně jak elektrické pole silově působí na nabitě částice mezi elektrodami indukční elektriky, tak se děje i s elektrony v kovovém vodiči, který připojíme k tzv. *zdroji napětí*. Za jednoduchý zdroj lze považovat dvojici plechovek z experimentu, při kterém byla jedna nabita kladným a druhá záporným nábojem<sup>4</sup>. Při jejich vodivém spojení tekla tyčkou s doutnavkou mezi plechovkami krátce proud, doutnavka blikla. „Utiskované“ elektrony mohly konečně přejít ze záporné plechovky na plechovku kladnou, jejíž opačný náboj je tak přitahoval. Aby proud tekla trvale a doutnavka svítila, museli bychom ty na kladnou plechovku „zběhlé“ záporné elektrony průběžně vracet zpět na plechovku zápornou. A k tomu by bylo nutné vykonat určitou práci, protože se jim zpět přeci jen moc „nechce“.

Popsané zařízení, které v naší zjednodušené představě přemáhá odpudivé síly a prošlý náboj opět „vyčerpává“ na to správné místo, aby mohl dále proudit vodiči a konat tak práci v připojeném obvodu, je onen *zdroj napětí*. Typicky má dvě přípojné zdířky (místo dvou plechovek) a nějakou svou vnitřní část související s mechanismem udržování napětí na jeho výstupních svorkách. Za alkalickými články a akumulátory stojí určité chemické reakce, elektrická zásuvka udržuje napětí mezi zdířkami díky distribučnímu transformátoru.

Jistě cítíme, že elektrická zásuvka má oproti akumulátoru z mobilního telefonu potenciálně lepší pracovní předpoklady. To by mohlo souviset s tím, že pro stejně velký přemístěný náboj jsou práce obou zdrojů různě velké. Akumulátor z telefonu může představovat buchar, který zvedá tunový beran do metrové výšky, zatímco elektrická zásuvka je zastoupena bucharem zvedajícím beran stejné hmotnosti do výšky desetkrát větší. Proteče-li zvolený náboj mezi svorkami připojeným obvodem, vykoná práci  $W$ . Při přemístění tohoto náboje zpět na tu „správnou“ svorku musí zdroj vykonat práci  $W_0$ . Abychom byli schopni vzájemně posuzovat potenciální „pracovitost“ různých zdrojů napětí, musíme porovnávat práce  $W_0$  (resp.  $W$ ) při přemístění stejně velkého náboje (každý buchar dostane stejně těžký beran). A protože by si někdo jiný mohl potenciální „pracovitost“ svých zdrojů stanovit jako práci při přenesení většího náboje (při celostátním srovnávání pracovitosti bucharů by majitel přechodně instalovat dvojnásobné berany), dohodneme se, že tuto potenciální „pracovitost“ zdrojů budeme všichni vyjadřovat pracemi, které se vztahují k jednotkovému kladnému náboji (ministerstvo práce rozešle normované berany o hmotnosti 1 kg). V učebních textech bývá uvedeno:

- Práci, kterou vykonají vnitřní síly zdroje při přemístění kladného jednotkového náboje ze záporné svorky na kladnou svorku, pojmenujeme jako **elektromotorické napětí zdroje**  $U_e$ .
- Práci, která je vykonána elektrickým polem při přemístění jednotkového kladného náboje ve vnější části obvodu, budeme říkat **svorkové napětí zdroje**  $U$ .

---

<sup>4</sup>Toho jsme dosáhli elektrostatickou indukci. Dvě plechovky jsou vodivě spojeny pletací jehlicí, k jedné přiblížíme nabitou tyč a současně izolantem vodivé spojení plechovek odstraníme. Nabitou tyč oddálíme.

### 3.1.5 Práce a výkon elektrického proudu

Napětím popsanou „pracovitost“ zdroje jsme doplnili přízviskem potenciální. Rozhodně totiž neznamená, že by zdroj s větším napětím vykonal více práce. Zásuvka za celý večer nemusí vykonat žádnou práci, protože mezi zdířkami neprojde žádný náboj, zatímco akumulátor telefonu může celou dobu „svítit“ na cestu, třeba při večerní procházce.

Chceme-li zjistit, jaká práce byla v obvodu vykonána, postačí vynásobit svorkové napětí zdroje, jakožto práci, která je vykonána při přemístění jednotkového náboje, celkovým za sledovanou dobu obvodem prošlým nábojem (práce bucharu je součin práce vykonané při spadnutí ministerského beranu vynásobená celkovou „napadanou“ hmotností), tedy jednoduše

$$W = UQ.$$

A jelikož proud tekoucí obvodem vyjadřuje množství náboje, který vtéká do vnější části obvodu za jednotku času, postačí jej vynásobit časem a máme pro náboj vyjádření  $Q = It$ , které může dosadit do předchozího vztahu, čímž získáme

$$W = UQ = UIt.$$

Pokud již známe ze základní školy Ohmův zákon  $I = \frac{1}{R}U$ , můžeme rovnou vyloučením buďto napětí  $U$  nebo proudu  $I$  získat další dvě užitečná vyjádření

$$W = UQ = UIt = \frac{U^2}{R}t = RI^2t.$$

A jelikož nás často zajímá, jaká práce je vykonána za jednotku času, tedy *výkon*, vydělíme předchozí vztahy časem  $t$  a máme tato vyjádření výkonu

$$P = \frac{W}{t} = UI = \frac{U^2}{R} = RI^2.$$

Vztahy platí i pro vybraný segment obvodu (např. jeden spotřebič), protože na body, ke kterým je připojen, můžeme nahlížet jako na svorky zdroje určitého napětí. Budeme-li uvažovat, že ve vztazích vystupují efektivní hodnoty veličin, lze vztahy použít i při řešení situací s obecně nekonstantními průběhy veličin<sup>5</sup>.

### 3.1.6 Průběhy elektrických veličin

Některé zdroje napětí mají tu vlastnost, že napětí na výstupních svorkách neustále mění polaritu. Jakoby nějaký mužíček zavřený uvnitř takového zdroje schválně prohazoval přívody výstupních svorek zapojené na póly nějaké baterie.

Mluvíme o *střídavých zdrojích*, které dávají *střídavé napětí*, napětí měnící polaritu. Připojeným obvodem pak teče *střídavý proud*, elektrony jsou střídavě taženy jedním a druhým směrem. Vlákna žárovek i topné spirály už procházivší a za okamžik vracejivší se elektrony důvěrně znají. Pro elektrony to sice znamená omezené cestovatelské možnosti, nicméně třeba tepelným spotřebičům to vůbec nevádí. Pravda, diody jsou restriktivnější, ty přes sebe proud v jednom směru

<sup>5</sup>Při velké obezřetnosti – např. v obvodech se střídavými průběhy napětí a proudu by vztahy platily pouze pro obvod s rezistory. Zde odkážeme na text (Žilavý, 2012).

nechtějí pustit vůbec. Toho pak použijeme při snaze ze střídavého napětí dostat co nejméně kolísavé stejnosměrné napětí, třeba i za laskavé asistence kondenzátoru.

Střídavé a speciálně harmonické napětí a proud nejsou žádnou komplikovaně vznikající libůstkou, naopak. Jejich přirozený vznik souvisí se způsobem, jakým dokážeme elektrickou energii snadno vyrábět. Generování harmonického napětí v alternátoru je založeno na přítomnosti cívek v rotujícím magnetickém poli a na jevu, kterému říkáme *elektromagnetická indukce*. Harmonický průběh vytvářeného napětí souvisí s rovnoměrným otáčením rotoru a budeme se jím později podrobněji zabývat.

Stejnoseměrné napětí lze pak ze střídavého napětí získat pomocí usměrňovačů. I když to vypadá, že užitečnost střídavého napětí je ohraničená snadností jeho generování, není to tak. Kromě možnosti transformace nahoru pro snížení ztrát při cestě ke spotřebiteli a možnosti redukce počtu vodičů při třífázovém vedení střídavého napětí, bychom přišli také o všechny výtobytky, které vychází z jevů kapitoly *Obvody se střídavými proudy* fyzikálních učebnic. V konečném důsledku generování elektromagnetických vln je rovněž podmíněno existencí střídavého proudu vysoké frekvence. Takže svět by byl bez těchto průběhů asi opravdu chudý.

Veličina (napětí a proud) může být z hlediska jejího časového průběhu:

- **Konstantní, stálá, neměnná** – její hodnota se s časem nemění. Např. napětí baterie<sup>6</sup> je konstantní. Napětí na stejnosměrném výstupu školního rozvodu ale obvykle konstantní není.
- **Nekonstantní, nestálá, proměnná** – obecně s časem mění svou hodnotu.
- **Stejnoseměrná** – s časem se nemění polarita (pro napětí) nebo směr (pro proud). Veličina nemusí být nutně konstantní. Příkladem může být dvoucenně usměrněný harmonický průběh na výstupu stejnosměrného zdroje.
- **Střídavá** – polarita (pro napětí) nebo směr (pro proud) se s časem mění. Průběh nemusí být nutně harmonický, uvažme například průběh generovaný neustálým přepínáním páčky komutátoru zapojeného ke svorkám baterie.

Zdůrazněme skutečnosti, ve kterých se někdy chybuje:

- Ne každý střídavý průběh je harmonický (sinusový) a ne každý stejnosměrný průběh je konstantní.
- Podmínky pro indukci napětí v závitě umístěném v magnetickém poli je proměnnost tohoto pole, tj. musí mít nekonečnou, ne nutně harmonický, průběh<sup>7</sup>.
- Transformovat lze obecně nekonečnou proud, nemusí být nutně harmonický, ani střídavý. Připomeňte si funkci Rhumkorfova induktoru s Wagnerovým kladívkem a funkci spínaných zdrojů, pomocí nichž probíhá většina transformací v síti na úrovni spotřebitele.

<sup>6</sup>V malém časovém měřítku – odhlédneme-li od vybíjení odebíraným proudem a souvisejícím nárůstem vnitřního odporu.

<sup>7</sup>Ostatně rovněž harmonický průběh proudu tekoucího cívkou automaticky neznamená harmonický průběh magnetické indukce v případném feromagnetickém jádru uvnitř cívky.

Pro seznámení se s průběhy na vlastní uši se nám může hodit i obyčejný reproduktor. Ten vydává trvale zvuk, je-li jeho membrána rozechvívána, tj. jestliže na cívku působí magnetická síla proměnné velikosti. Jak plyne ze vztahu  $F_m = BIl$ , uslyšíme nějaký zvuk, poteče-li cívku obecně proud nekonstantní velikosti.

☞ Poslechněte si „průběh“ z baterie, harmonického, jednocestně usměrněného, dvoucestně usměrněného a vyhlazeného dvoucestně usměrněného napětí!

Dobré porozumění dosud zavedených pojmů umožní radostné řešení některých problémů ze života. Už nikdy pouhé technické dosazování vzorečku do vzorečku!

**Příklad 1.** *Za jak dlouho se vybijí akumulátor v automobilu, jestliže jde o 12 V baterii s kapacitou 44 Ah a nechali jsme rozsvícené přední světlomety, každý o příkonu 55 W. Pro jednoduchost předpokládejme, že je akumulátor plně nabit, jeho napětí s vybíjením neklesá, odběr ostatních spotřebičů je zanedbatelný a automobil mezitím nikdo neukradne.*

Kapacita akumulátoru nám dává informaci, jaký celkový náboj může mezi svorkami přejít

$$Q = 44 \text{ Ah} = 44 \text{ A} \cdot 3600 \text{ s} \doteq 1,6 \cdot 10^5 \text{ C}.$$

Celková práce vykonaná při přemístění tohoto náboje mezi svorkami je

$$W = QU.$$

Obě světla s celkovým výkonem  $2P$  tuto energii spotřebují za čas

$$t = \frac{W}{2P} = \frac{QU}{2P} = \frac{1,6 \cdot 10^5 \text{ C} \cdot 12 \text{ V}}{2 \cdot 55 \text{ W}} \doteq 4,8 \text{ h}.$$

Na zloděje bez náhradního akumulátoru bude automobil čekat necelých 5 hodin.

### 3.1.7 Ohmův zákon

Již jsme se seznámili s elektrickým napětím, jež popisuje práci, kterou elektrické pole vykoná při přemístění kladného jednotkového náboje mezi vybranými místy. Zavedli jsme rovněž proud, který vyjadřuje, jaký náboj zvoleným průřezem prochází za jednotku času.

Pro kovový vodič při konstantní teplotě platí, že proud tekoucí vodičem je přímo úměrný napětí mezi jeho konci

$$I = \frac{1}{R} U.$$

Konstantou úměrnosti je zvolen faktor  $\frac{1}{R}$ , kde  $R$  nazveme *elektrickým odporem* vodiče. Kolikrát je totiž při stejném napětí větší elektrický odpor vodiče  $R$ , tolikrát menší proud jím protéká.

Uvedená skutečnost, často neprávem banalizovaný **Ohmův zákon**, je impozantní vazbou dvou veličin tak rozdílného typu! Představuje úměrnost řekněme „kinematické“ veličiny *proudu* (kolik náboje teče) s veličinou ryze „energetickou“, *napětím* (kolik se vykoná práce).

Nicméně za podmínek požadovaných předpoklady Ohmova zákona, tj. pro konkrétní kus vodiče při konstantní teplotě, je závislost  $I = I(U)$  opravdu lineární, jak jsme tomu viděli, když jsme proměřovali voltampérovou charakteristiku

wolframového vlákna žárovky baňky zbavené<sup>8</sup>, takže jejich souvislost nelze odepřít. Ohmův zákon nám tak přináší na představu mnohem přijatelnější interpretaci napětí. Napětí mezi danými místy totiž podle Ohmova zákona určuje, jaký proud je mezi danými místy možné „protlačit“. Lépe řečeno pouze spoluurčuje, druhým faktorem je elektrický odpor příslušné cesty. A zřejmě právě takto napětí běžně vnímáme.

Oba náhledy na napětí, jak pohled optikou „energeticky pracovní“, tak představa „honce proudu“, je vhodné udržet v povědomí. Například dělení napětí při sériovém řazení snadno vyplývá z „pracovního“ náhledu, stejný proud sériově řazenými prvky v dané větvi snadno vysvětlíme představou „honca“.

Díky Ohmovu zákonu lze konkrétnímu kovovému vodiči (zvoleného materiálu, délky a průřezu) při konstantní teplotě jednoznačně přiřadit elektrický odpor, jako vlastnost charakterizující jak omezuje proud, a to vztahem

$$R = \frac{U}{I}.$$

Totéž lze udělat třeba pro polovodič, plyn i kapalinu, s tím rozdílem, že odpor  $R$  pak není „předmětovou“ konstantou, ale obecně funkcí proudu, tj.  $R = R(I)$ .

### 3.1.8 Teplotní závislost elektrického odporu

Odpor kovového vodiče s rostoucí teplotou roste. Můžeme se o tom přesvědčit zapojením kovového vodiče k ohmmetru a následným nahříváním nad plamenem. Ale i bez otevřeného ohně lze naměřit, že vlákno klasické 60 W žárovky má za pokojové teploty odpor kolem  $55 \Omega$ , zatímco při provozu přibližně  $1\,100 \Omega$ . Ochota se změnou teploty měnit svůj elektrický odpor je očekávaně individuální záležitostí konkrétního materiálu vodiče.

V prvním přiblížení lze teplotní závislost elektrického odporu vodiče na změně teploty aproximovat lineární formulkou

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

kde  $R_0$  je odpor při počáteční teplotě a  $\alpha$  je pro mnohé kovy tabelovaný *teplotní koeficient elektrického odporu*. Pokud si jej vyhledáme pro wolfram, můžeme alespoň přibližně z naměřených hodnot odporu za studena a při provozu určit teplotu rozžhaveného vlákna žárovky. Na efekt výrazně menšího odporu vlákna žárovky za studena si vzpomínáme vždy, když nám při sepnutí vypínače praskne žárovka.

Pro měření teploty se používá závislost odporu *termistoru* na teplotě. Nejde ale o kovový vodič, ale o součástku tvořenou vlastním polovodičem. A u těch naopak s rostoucí teplotou odpor klesá. Proč se používá polovodič a ne kov ale vychází z toho, že závislost je u polovodičů mnohem výraznější. Zatímco změnu odporu měděného drátu při ponoření do vroucí vody téměř nepostřehneme, u termistoru se může v závislosti na konkrétním modelu změnit řádově i o stovky ohmů.

<sup>8</sup>Ohmův zákon lze ověřit experimentem. Řekneme, že vlákno žárovky je rozhodně kovové, takže by pro něj měl platit Ohmův zákon. Předpoklad o teplotě záměrně nepřipomínáme. Při měření VA charakteristiky měřené hodnoty ihned vynášíme do grafu a hned po chvilce je jasné, že závislost lineární rozhodně není. Žáci na zradu většinou přijdou. Po odstranění baňky nahřátím a vložením do studené vody provedeme měření znovu, tentokrát ve vodní lázni. Mnohem větší úspěch než lineární závislost  $I = I(U)$  má ale bezesporu následné zapojení této „light“ verze žárovky do zásuvky.

### 3.1.9 Odpor kovového vodiče

Odpor vodiče délky  $l$  s průřezem  $S$  z kovového materiálu o rezistivitě  $\rho$  snadno vypočítáme podle vztahu

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Rezistivita mědi je dle tabulek při 20 °C přibližně  $1,75 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ .

**Příklad 2.** *Určete odpor jednoho vodiče prodlužovací šňůry, která má délku 50 m a průřez vodičů  $1,5 \text{ mm}^2$ . Jaké je napětí na varné konvici, která je zapojená na konci šňůry a odebírá proud 10 A, je-li šňůra připojena do zásuvky 230 V?*

Pro výpočty odporů vodičů v elektrických rozvodech se hodí mít rezistivitu daného materiálu v následující prakticky použitelné podobě

$$\begin{aligned} \rho &= 1,75 \mu\Omega \cdot \text{cm} = 1,75 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1} = \\ &= 1,75 \cdot 10^{-2} \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1} = 0,0175 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}. \end{aligned}$$

Protože rezistivita má význam odporu vodiče příslušného materiálu, který má jednotkovou délku a jednotkový průřez, stačí toto číslo vynásobit délkou v metrech a vydělit průřezem v milimetrech čtverečních a máme hotovo i bez trápení se s převodem jednotek.

Odpor jednoho vodiče v prodlužováku 50 m,  $1,5 \text{ mm}^2$  je proto

$$R = 0,0175 \cdot \frac{50}{1,5} \Omega \doteq 0,6 \Omega.$$

Proud na své cestě šňůrou teče oběma pracovními vodiči, tj. celkový úbytek napětí je

$$2U = 2RI = 2 \cdot 0,6 \cdot 10 \text{ V} = 12 \text{ V}.$$

Odpor jednoho vodiče v prodlužováku je asi  $0,6 \Omega$ . V důsledku úbytku napětí na vedení je napětí, ke kterému je připojena konvice, pouze přibližně 218 V. Napětí tedy klesne asi o 5 %. Stejná hodnota v procentech vyjadřuje podíl odebraného výkonu, který je neúčinně „protápený“ ve vodičích prodlužováku a který bez optání navyšuje náš účet za elektřinu.

Tento příklad je velice poučný. Představte si, že bychom tímto způsobem přenášeli mnohem větší výkony na mnohem delší vzdálenosti, třeba vyrobenou energii z elektrárny do města. Když by byly vodiče příliš tenké a dlouhé, mohlo by se stát, že bychom všechnen výkon „protopili“ na cestě. Napětí ve městě by bylo téměř nulové!

Pro minimalizaci úbytku napětí  $RI$  i ztrátového výkonu  $RI^2$  na vedení lze:

- Zmenšit odpor  $R$  vedení – užitím materiálu s **lepší vodivostí**.  
*Používá se spíše uvnitř přístrojů.*
- Zmenšit odpor  $R$  vedení – užitím vodičů s **větším průřezem**.  
*Lze pozorovat v koncových sítích.*
- Zmenšit proud  $I$  tekoucí vedením – pomocí **transformace napětí** nahoru.  
*Klíčový úkon v distribuční a přenosové síti.*

### 3.1.10 Řazení rezistorů

#### Odpor sériového řazení

Při zapojení série rezistorů s odpory  $R_1, R_2, \dots, R_n$  ke zdroji napětí  $U$  dojde k jeho rozdělení na jednotlivé rezistory<sup>9</sup>

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n,$$

protože práce při projití jednotkového náboje mezi svorkami zdroje je jednoduše součtem prací, které jsou vykonány na jednotlivých segmentech při jeho cestě tímto nerozvětveným obvodem. Z Ohmova zákona a skutečnosti, že všemi rezistory teče stejný proud  $I$ , plynou vztahy

$$U_1 = R_1 I, \dots, U_n = R_n I \quad \text{a} \quad U = RI,$$

kde poslední rovnost zavádí odpor  $R$  celého sériového zapojení. Dosazením vztahů do rovnice pro napětí a pokrácením proudu dostáváme pro sériové zapojení

$$R = R_1 + \dots + R_n = \sum_{j=1}^n R_j.$$

Speciálně pro  $k$  rezistorů o stejném odporu  $R_0$  máme  $R = kR_0$ .

Rozdělíme-li homogenní vodič délky  $\lambda$  průřezu  $S$  příčně na  $n$  dílů, z nichž každý má odpor  $R_0$ , vyplývá formálně z odvozené skutečnosti přímá úměrnost  $R \sim l$  ve vztahu  $R = \rho \frac{l}{S}$  pro výpočet odporu vodiče. Pro odpor vodiče složeného z  $k$  kousků je totiž  $R = kR_0$  a úsek vodiče délky  $l$  má tudíž odpor  $R = l \frac{n}{\lambda} R_0$ .

#### Odpor paralelního řazení

Paralelní zapojení rezistorů s odpory  $R_1, R_2, \dots, R_n$  odebírá ze zdroje napětí  $U$  celkový proud  $I$ , který je součtem proudů, které tečou jednotlivými rezistory, tedy

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$$

Protože jsou všechny rezistory připojeny přímo k jednomu zdroji, je na všech rezistorech právě napětí zdroje  $U$ . Z této skutečnosti a užitím Ohmova zákona získáme vztahy

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \dots, I_n = \frac{U}{R_n} \quad \text{a} \quad I = \frac{U}{R},$$

kde poslední rovnost zavádí odpor  $R$  celého paralelního zapojení. Dosazením vztahů do rovnice pro proud a pokrácením napětí pak pro výsledný odpor  $R$  dostáváme

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_j}.$$

---

<sup>9</sup>V dalším textu se napětí  $U_j$  a proud  $I_j$  týká  $j$ -tého rezistoru s odporem  $R_j$ .



Speciálně pro dva paralelně řazené rezistory vypočítáme jejich celkový odpor snadno pomocí upraveného vztahu

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \Rightarrow \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

V případě  $k$  rezistorů o stejném odporu  $R_0$  je výsledný odpor  $R = \frac{R_0}{k}$ .

Rozdělíme-li homogenní vodič délky  $l$  průřezu  $\sigma$  podélně na  $n$  vláken, z nichž každé má odpor  $R_0$ , vyplývá formálně z odvozené skutečnosti nepřímá úměrnost  $R \sim \frac{1}{S}$  ve vztahu  $R = \rho \frac{l}{S}$  pro výpočet odporu vodiče. Pro odpor vodiče složeného z  $k$  vláken je totiž  $R = \frac{R_0}{k}$  a svazek vláken průřezu  $S$  má tak odpor  $R = \frac{1}{S} \frac{\sigma}{n} R_0$ .

Z hlediska elektrické sítě je stěžejní právě paralelní konfigurace. Spotřebiče, celé jejich okruhy, domy a města, jsou totiž k napětí sítě připojeny paralelně. Tedy zapnutí nebo připojení spotřebiče lze modelovat přidáním dalšího paralelního rezistoru, kterým může téci proud. Celkový odpor sítě se zmenší, proud naroste a s ním i potřebný příkon pokrývající poptávky elektrické energie. Reálně je to ale složitější, elektrickou síť nelze modelovat pouze rezistory. Řada spotřebičů má znatelně indukční charakter, což spolu s faktem střídavého průběhu proudu přináší celou řadu dalších ne vždy jednoduchých efektů.

## 3.2 Magnetismus

### 3.2.1 Magnetická síla a magnetické pole

Představme si, že jsme právě objevili první magnetickou šupinku. Jsme tak uneseni tím záhadným jevem, kdy se šupinka při libovolném položení na hladký povrch natočí vždy stejným směrem. A počkejte, vždyť stejným směrem leží i severní a jižní pól! To bychom mohli té části, co míří na sever, říkat *severní magnetický pól* a té druhé *jižní magnetický pól*. Na severní *north* magnetický pól napíšeme N a kápneme červenou barvu, jižní *south* pól označíme písmenem S a obarvíme modře. Přivítejme první magnetku!

Při jednom předvádění téhle úžasné magnetky nám šupinka spadne na zem a rozlomí se na dvě části. Smutek z rozbitého jediného exempláře vystřídá radost. Vždyť oba střípky se chovají úplně stejně, jako se předtím choval celek – jedním koncem míří na sever! Tak je očistíme a označíme, jak jsme to provedli předtím.

A teď nás napadne šílenost, hypotéza vycházející z terminologie: když severní pól magnetky míří k severu, nemířil by třeba i k severnímu magnetickému pólu? Zkusíme magnetky dát blíž k sobě – a ejhle, magnetky se natočily do přímky, ale oproti předpokladu se přitahují jejich opačné magnetické póly. Zkusíme vždy jednu z magnetek otočit – zjišťujeme, že souhlasné póly se odpuzují.

Severní magnetický pól směřuje na severní pól. To vypadá, že zeměkoule obsahuje také nějaký magnet a na severním pólu je jeho jižní magnetický pól. Proto se můžeme tímto způsobem pomocí magnetky orientovat!

Skvělé, našli jsme ložisko magnetovce. Začínáme vyrábět magnetky a magnety. Vždy je přiložíme k naší referenční magnetce a po jejím natočení na vyráběný kus vyznačíme opačný pól. Později k nám jezdí zástupci z dalších závodů, aby si označili svůj referenční magnet. A tak i všechny magnety, co máme v kabinetě ve skříni, jsou označeny podle jednoho z prvních referenčních magnetů.

A zjišťujeme další zajímavé vlastnosti. Magnety dokáží některé předměty přitahovat – působit na ně silou, říkáme jí *magnetická*. A nemusí to být ani magnety, stačí hřebík nebo sponka, podobně, jako nabitě brčko v elektrostatice přitahovalo neutrální plechovku. Navíc, podobně jako u elektrostatické indukce, jsou tyto materiály k magnetu vždy pouze přitahovány! Pojímáme podezření, že v přítomnosti *magnetického pole* dojde k nějaké strukturální změně uvnitř hřebíku a stane se z něj ve směru pole orientovaný magnet. Tomu bychom mohli říkat *magnetizace*.

Rovněž je zajímavé, že některé typy látek se magnetizují trvale, tedy když je vyndáme z magnetického pole, zůstávají magnetické. A magnetické pásky pro záznam informací budou přesně tohoto využívat! Naproti tomu jiné typy látek jsou magnetické jenom za přítomnosti magnetického pole a ty se uplatní při konstrukci jader transformátorů a vinutí motorů.

Magnetické pole permanentního magnetu popíšeme pomocí magnetických indukčních čar. To budou orientované uzavřené křivky, přičemž tečna v daném bodě bude udávat natočení magnetky, orientace směřování jejího severního pólu a hustota vnesení čar bude úměrná síle tohoto pole.

*S velkou dávkou zjednodušení a historicky nesprávně jsme ve zkratce prošli cestu k dnešním pojmům jako je magnet, magnetické póly, magnetická síla, magnetické pole, či magnetická indukční čára. Díky tomu je nyní zřetelně patrné, co všechno bylo voleno dohodou a co je výsledek pozorování chování přírody.*

### 3.2.2 Cívka a elektromagnet

Dlouhou dobu byl magnetismus vcelku izolovaným oborem s užitečností neza-  
hrnující o mnoho víc, než možnost orientace pomocí kompasu. To zcela zásadně  
změnil neplánovaný pokus dánského fyzika Hanse Christina Oersteda.

Na stole máme v hromadě nepořádku zamotané vodiče, baterii a ampérmetr,  
protože se zabýváme progresivním oborem, elektřinou. A válí se tu náhodou  
i volně otáčivá magnetka. Velké překvapení – v okamžiku zapojení testovaného  
elektrického obvodu ke zdroji pozorujeme natočení magnetky! Že by elektřina  
působila na magnetku? Že by to spolu mohlo souviset?

Dnes už víme, že vodič protékaný proudem ve svém okolí vytváří magnetické  
pole. Tedy je jakýmsi vypínatelným kolegou permanentního magnetu, ale něja-  
kého hodně slabého, a navíc je jeho magnetické pole úplně jiné. Pomocí magnetky  
zjistíme, že magnetické indukční čáry kolem přímého vodiče jsou soustředné kruž-  
nice. Použitím správně označené magnetky jsme schopni magnetickým indukčním  
čarám přímého vodiče přiřadit orientaci. A abychom s sebou vždycky nemuseli  
tahat magnetku, zjistili jsme, že funguje pravidlo, že když vodič uchopíme pravou  
rukou tak, že palec ukazuje směr proudu, pak zatočené prsty kolem vodiče ukazují  
orientaci magnetických indukčních čar. Máme štěstí, kdybychom jako směr mag-  
netických indukčních čar zvolili směr od jižního pólu magnetky, trápili bychom  
se teď s levou rukou. Anebo bychom museli zvolit směr proudu jako směr pohybu  
záporných částic. Každopádně je už nyní jasné, že jednotlivé dohody na sobě za-  
čínají být závislé. A nezapomeňme, v elektřině jsme jako výsadní náboj zvolili  
náboj kladný, ten určuje směr proudu; v magnetismu je výsadní N pól magnetky,  
neboť určuje orientaci magnetických indukčních čar.

Samotný vodič má slabé magnetické pole. Co kdybychom vodič nějak defor-  
movali? To by se musely magnetické indukční čáry v zakrouceních „namačkat“  
a pole by tam mohlo být silnější. Obtočíme vodičem buzolu. Při zapojení k baterii  
je teď natočení střelky mnohem hbitější! Říkáte, natočme těch závitů kolem bu-  
zoly více, ještě více, slyším vás dobře? Zkusme to. A opravdu, je to lepší a lepší.  
Vineme *cívku*! Další a další závity takhle ve vzduchu ne a ne držet. Máme tu  
kovové těžítko, namotávejme je na něj. Ale pozor, magnetky necelé dva metry  
vzdálené se při připojení k baterii snad zbláznily! Jednu z nich přiblížíme a po-  
mocí ní mapujeme magnetické pole cívky na těžítku, kterému začneme říkat *jádro*.  
Vždyť je přibližně stejné, jako magnetické pole permanentního magnetu!

Tak jsme vyrobili *elektromagnet*, cívku s jádrem. Je mnohem lepší než kla-  
sický magnet. Dá se vypínat. Změnou velikosti proudu lze navíc regulovat jeho  
síla. To se bude hodit, až budeme přemistovat šrot. Ale počkejte, jestliže má elek-  
tromagnet podobné pole jako klasický magnet, měl by mít také N a S pól! Proto  
k jednomu pólu přiblížíme magnetku a zjistíme, že jde o N pól. Pak necháme téci  
proud opačným směrem a ejhle, teď tu je S pól. To by chtělo nějakou pomůcku,  
abychom s sebou opět nemuseli tahat magnetku. Uchopme cívku do pravé ruky  
tak, že prsty budou ukazovat směr proud v závitěch. Odtážený palec ukazuje na  
N pól elektromagnetu, to si budeme pamatovat. Nyní jsme schopni změnou směru  
proudu rychle zaměnit póly elektromagnetu.

A už sklízíme první plody své objevitelské práce. Elektromagnetem můžeme  
zvedat některé předměty, pomocí elektromagnetického relé spínáme obvody, stroje  
poháníme pomocí elektromotorů. Popsáním silového působení dvou vodičů pro-  
tékaných proudem se nám konečně podaří definovat velikost proudu 1 A.

### 3.2.3 Elektromagnetická indukce

Z předchozí části víme, že vodič protékaný proudem vytváří ve svém okolí magnetické pole, tedy se chová jako magnet. Nefungovalo by to náhodou naopak? Že by magnetické pole v okolí vodiče způsobilo proud tímto vodičem? To bychom pomocí magnetu vyráběli elektřinu!

Samotné to zní poněkud podezřele. Vodič a vedle něho v klidu leží magnet, žádná dřina, to by bylo příliš snadné. Připojíme ampérmetr a vidíme, že vskutku žádný měřitelný proud negenerujeme. Zkoušíme ještě namísto samotného vodiče udělat několik závitů, pak zkusíme zapojit dokonce celou cívku, což byl úspěšný postup v předchozí kapitole při snaze vytvořit z vodiče „silný magnet“. Nic. Rezignovaně začneme balit – nejprve vytáhneme magnet z cívky. A ejhle ručička ampérmetru se jednorázově vychýlila. Podařilo se nám to!

Dalším laborováním jsme zjistili, že pro vytvoření napětí v závitě stačí, aby se magnetické pole prostupující plochu tohoto závitu nějak měnilo. A když se místo jednoho závitu vezme rovnou cívka, je generované napětí (i proud, je-li obvod uzavřen) mnohem větší!

Hýbání magnetu v blízkosti cívky nebo naopak cívky v blízkosti magnetu, otáčení magnetu u cívky nebo naopak otáčení cívky u magnetu, to všechno způsobuje *indukci napětí* mezi vývody cívky.

Pak zkusíme změnu magnetického pole vyvolat sofistikovaněji, místo permanentního magnetu používáme elektromagnet. To elektromagnet i „chytací“ cívku necháme ležet v klidu vedle sebe a změnu magnetického pole realizujeme zapínáním a vypínáním proudu elektromagnetem. Pak měníme jeho sílu regulací proudu reostatem. A nakonec elektromagnet připojíme rovnou na střídavý zdroj! Cívkou, která není s obvodem elektromagnetu fyzicky spojena, teče trvale indukovaný proud! Ten se znatelně zvětší, umístíme-li cívku na stejné jádro společně s cívkou elektromagnetu. A teď zkusíme cívky s různým počtem závitů a umísťujeme je na uzavřené jádro, aby magnetické pole pěkně prostupovalo obě cívky. Postavili jsme *transformátor*!

A co když budeme vedle cívky otáčet magnetem? Ručička připojeného ampérmetru se komíhá tam a zpět. Generujeme střídavý proud, mezi vývody cívky je střídavé napětí! Ale pozor, prostor kolem otáčivého magnetu je špatně využit. Co kolem magnetu rozmístit rovnou tři „chytací“ cívky, a to tak, že jejich osy budou rozdělovat rovinu na tři shodné úhly? Na ampérmetrech zapojených k cívkám nyní vidíme, že maximální výchylka napětí na každé cívce je vždy o třetinu periody otáčení opožděná před maximem cívky předcházející. Vyrábíme tři shodná střídavá napětí, jejichž průběhy jsou časově posunuty, tedy *třífázový střídavý proud*. Pokud místo magnetu budeme otáčet jeho sofistikovanější verzí, elektromagnetem, máme celkem realistický model *třífázového alternátoru*, který slouží k výrobě elektrického proudu v elektrárnách.

*Objevíli jsme princip, na kterém stojí funkce generátoru elektrického proudu i transformátoru – elektromagnetickou indukci! Na začátku byly dvě cesty, které začínaly pouhou šupinkou magnetovce a obyčejným vodičem protékaným proudem. Díky tomu, že se tyto cesty na stole u Oersteda zkrížily, máme nyní namísto dvojice učebnic elektřiny a magnetismu knihu jednu – učebnici elektromagnetismu a spolu s ní spoustu jevů, bez nichž by současný svět vypadal zcela jinak.*

Pro přesnější popis toho, kdy se napětí v závitě indukuje a na čem závisí jeho velikost, budeme potřebovat veličinu, která nám vyjadřuje, jak moc magnetické pole prostupuje plochu zvoleného závitu. Představíme-li si, že magnetické indukční čáry jsou proudnice tekoucí kapaliny a vodič tvoří obvod akvaristické sítinky, můžeme z této analogie snadno odhadnout, že míra prostupu bude záviset na síle magnetického pole, obsahu závitem vymezené plochy, ale i natočení normály plochy vůči indukčním čarám. Jde o veličinu, které se říká *magnetický indukční tok*  $\phi$ , jehož jednotkou  $[\phi] = W$  je weber a vztah pro jeho výpočet je

$$\phi = BS \cos \alpha,$$

kde  $B$  je velikost vektoru *magnetické indukce*, která popisuje sílu magnetického pole a má směr i orientaci magnetických indukčních čar,  $[B] = T$  (tesla).

*Faradayův zákon elektromagnetické indukce* říká, že střední hodnota indukovaného napětí v závitě je rovna záporně vzaté časové změně magnetického indukčního toku závitem vymezenou plochou. Matematicky

$$U_i = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}.$$

Mínus před zlomkem je vyjádřením Lenzova zákona, který stanovuje, jakou má indukované napětí polaritu, resp. jakým směrem teče indukovaný proud.

Díky Faradayovu zákonu můžeme jasně rozhodnout, zda v konkrétním případě k indukci skutečně dochází. Budeme-li například cívkou pohybovat v homogenním magnetickém poli tak, že roviny závitů budou kolmé na magnetické indukční čáry, k žádné změně magnetického indukčního toku nedochází a indukované napětí bude nulové.

Neboť magnetický indukční tok závitem je dán vztahem  $\phi = BS \cos \alpha$  a Faradayův zákon požaduje jeho časovou změnu, máme celé spektrum možností, jak indukce napětí v závitě (v cívce) docílit. Můžeme během času  $\Delta t$  realizovat:

1.  $\Delta B \neq 0$ : změnu velikosti magnetického pole
  - (a) relativním pohybem vůči magnetu (elektromagnetu),
  - (b) obecným pohybem v nehomogenním magnetickém poli,
  - (c) zapínáním a vypínáním elektromagnetu,
  - (d) změnou velikosti proudu elektromagnetem pomocí reostatu,
  - (e) napájením elektromagnetu proměnným proudem, např. střídavým,
2.  $\Delta S \neq 0$ : změnu velikosti plochy závitu
  - (a) závit deformujeme tak, aby se měnil obsah jím vymezené plochy,
3.  $\Delta \alpha \neq 0$ : změnu natočení plochy vodiče vůči magnetickému poli
  - (a) otáčíme závitem (cívkou), magnet (elektromagnet) je v klidu,
  - (b) otáčíme magnetem (elektromagnetem), závit (cívka) je v klidu.

Přitom platí, že čím je kratší čas, po který se změna toku realizuje, tím je indukované napětí větší. Vzpomínáte, jak jsme museli s magnetem hýbat opravdu rychle, aby nám LED dioda hezky blikala?

Využitím diferenciálního počtu můžeme uvažovat Faradayův zákon, který namísto střední hodnoty indukovaného napětí hovoří přímo o jeho okamžité hodnotě

$$u_i = -\frac{d\phi}{dt}.$$

Indukované napětí je tedy jednoduše záporně vzatou časovou derivací magnetického indukčního toku.

### 3.2.4 Střídavý proud

Předchozí úvahy nám daly návod k tomu, jak snadno vyrábět elektrický proud, využitím energie padající vody na mlýnek u potoka nebo páry roztáčející turbínu.

Zajistíme-li, že se bude cívka s  $N$  závitů o obsazích  $S$  otáčet stálou úhlovou rychlostí  $\omega$  v homogenním magnetickém poli o magnetické indukci  $B$ , které může být přibližně vytvářeno mezi pólovými nástavci permanentního magnetu nebo elektromagnetu, bude celkový magnetický indukční tok cívkou

$$\phi(t) = NBS \cos \omega t,$$

neboť úhel natočení je přímo úměrný času pohybu  $\alpha = \omega t$ . Magnetický indukční tok se s časem mění harmonicky. Dosazením tohoto vyjádření do diferenciální podoby Faradayova zákona dostaneme

$$u_i = -\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d}{dt}(NBS \cos \omega t) = -NBS \frac{d}{dt} \cos \omega t = NBS\omega \sin \omega t.$$

Indukované napětí je tedy střídavé napětí harmonického průběhu. Zatímco změnu toku popisovala funkce kosinus, indukované napětí se mění sinově, tj. průběhy jsou časově o čtvrt periody posunuté. V poloze s maximální velikostí indukčního toku závitů je indukované napětí nulové, naopak při procházení závitů polohou s nulovým indukčním tokem se indukuje napětí maximální velikosti.

Z vyjádření  $u_i = NBS\omega \sin \omega t$  průběhu indukovaného napětí snadno vyčteme maximální hodnotu (amplitudu) napětí

$$U_m = NBS\omega.$$

Tj. pro regulaci velikosti generovaného napětí ve výše popsaném uspořádání můžeme:

- měnit počet závitů  $N$  cívky (např. mít samostatně vyvedené segmenty cívky a ty dle potřeby z obvodu připínat a odpínat),
- měnit velikost magnetického pole  $B$  (regulovat proud tekoucí budícími elektromagnety),
- měnit úhlovou rychlost  $\omega$  otáčení.

Ke stejným závěrům bychom dospěli, pokud by výroba střídavého proudu probíhala typičtěji – cívka v klidu a rotující zdroj magnetického pole.

Vypočítáme-li střední hodnotu harmonického průběhu napětí  $U = U_m \sin \omega t$ , kde  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , zjistíme nepřekvapivý fakt

$$\bar{U} = \frac{1}{T} \int_0^T U_m \sin \omega t \, dt = -\frac{U_m}{2\pi} \left[ \cos \frac{2\pi}{T} t \right]_0^T = 0.$$

Střední hodnota je nulová. Tragicky by tak mohlo skončit ověřování nepřítomnosti napětí v síti multimetrem nedopatřením nastaveným na stejnosměrný rozsah, protože při takovém nastavení přístroj ukazuje právě střední hodnotu průběhu.

Střední hodnota tedy není vhodným parametrem popisujícím průběh napětí, z hlediska jeho potenciální „pracovitosti“. Maximální hodnota je rovněž nevhodující, protože nijak nerefluje, jak malé či velké jsou hodnoty napětí mimo časy, kdy nabývá maximálních hodnot. Zkusíme proto nalézt střední hodnotu kvadrátu průběhu napětí a výsledek odmocnit, aby měl rozměr napětí. Tedy

$$\begin{aligned} U_{\text{ef}} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U_m^2 \sin^2 \frac{2\pi}{T} t \, dt} = \sqrt{\frac{U_m^2}{T} \int_0^T \frac{1 - \cos 2\frac{2\pi}{T} t}{2} \, dt} = \\ &= \sqrt{\frac{U_m^2}{T} \left[ \frac{t}{2} - \frac{T}{8\pi} \sin 2\frac{2\pi}{T} t \right]_0^T} = \frac{U_m}{\sqrt{T}} \sqrt{\frac{T}{2} - 0 - (0 - 0)} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \end{aligned}$$

Tímto způsobem počítanému parametru nejen pro harmonický průběh říkáme *efektivní hodnota* a lze ukázat, že má hezkou fyzikální interpretaci. Efektivní hodnota napětí daného průběhu je ekvivalentní hodnotě napětí konstantního průběhu, který má při zapojení na tutéž odporovou zátěž stejný střední výkon. Tedy efektivní hodnota napětí daného průběhu je napětí takové baterky, že při přepojení k ní svítí žárovka „stejně“. Analogicky pro efektivní hodnotu proudu.

Už víme, jaký je průběh napětí na každé z cívek třífázového alternátoru, kterým jsme se již kvalitativně zabývali. Na vývodech cívky se indukují napětí

$$\begin{aligned} u_1 &= U_m \sin \omega t \\ u_2 &= U_m \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \\ u_3 &= U_m \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right). \end{aligned}$$

Hovoříme o *fázových napětích*. Efektivní hodnota síťových fázových napětí je u nás na úrovni maloodběratele 230 V a úhlová frekvence  $100 \pi \text{ s}^{-1}$ . Z ekonomických důvodů není výhodné přenášet elektřinu pomocí všech šesti vodičů vycházejících z jednotlivých cívek alternátoru, ale tento počet redukovat.

Pokud vytvoříme uzal tak, že do něj vyvedeme z každé cívky jeden vývod, a tomuto uzlu přiřadíme nulový potenciál, budou mít napětí  $u_1, u_2$  a  $u_3$  zbývajících konců vůči tomuto uzlu přímo význam potenciálu. Pro potenciály vývodů cívek vzhledem k uzlu proto platí naprosto stejné rovnice

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= U_m \sin \omega t \\ \varphi_2 &= U_m \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) \\ \varphi_3 &= U_m \sin \left( \omega t + \frac{4\pi}{3} \right). \end{aligned}$$

Napětí mezi libovolným volným vývodem cívky a uzlem je stále ono **fázové napětí** s efektivní hodnotou  $U_{\text{ef}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ . Jaké je ale napětí mezi dvěma libovolnými volnými vývody cívek?

Vypočítejme průběh napětí mezi svorkami první a druhé cívky. To je rozdíl potenciálu mezi těmito body, tedy<sup>10</sup>

$$\begin{aligned} u_{12} &= \varphi_1 - \varphi_2 = U_m \sin \omega t - U_m \sin \left( \omega t + \frac{2\pi}{3} \right) = \\ &= 2U_m \cos \frac{2\omega t + \frac{2\pi}{3}}{2} \sin \frac{-\frac{2\pi}{3}}{2} = -\sqrt{3} U_m \cos \left( \omega t + \frac{\pi}{3} \right) = \\ &= \sqrt{3} U_m \sin \left( \omega t - \frac{\pi}{6} \right). \end{aligned}$$

Tomuto napětí se říká *sdužené*. Průběhy sdužených napětí odpovídající zbývajícím kombinacím vývodů jsou téměř stejné, mají pouze posunutou fázi.

Sdužené napětí budeme značit horním levým indexem, tedy  ${}^sU$ , zatímco budeme-li pracovat s napětím fázovým, nebudeme používat index žádný.

Je zřejmé, že střední hodnota průběhu sduženého napětí je opět nulová.

Z výše provedeného výpočtu jsme kromě skutečnosti, že sdužené napětí má stejnou frekvenci jako napětí fázové, zjistili i vazbu jejich maximálních hodnot

$${}^sU_m = \sqrt{3}U_m,$$

tedy sdužené napětí je přibližně 1,7 krát větší.

Vzhledem k tomu, že průběh sduženého napětí je opět harmonický, vyjde pro jeho efektivní hodnotu napětí formálně stejný vztah

$${}^sU_{\text{ef}} = \frac{{}^sU_m}{\sqrt{2}}.$$

Tuto část uzavřeme schémátkem, ve kterém vypočítáme efektivní a maximální hodnoty sduženého a fázového napětí, která máme v síti. Vyjdeme ze známé skutečnosti, že efektivní hodnota fázového napětí je 230 V.

$$\begin{array}{ccc} U_{\text{ef}} = 230 \text{ V} & \longrightarrow & U_m = \sqrt{2} U_{\text{ef}} \\ & & = \sqrt{2} \cdot 230 \text{ V} \\ & & \doteq 325 \text{ V} \\ & & \downarrow \\ {}^sU_{\text{ef}} = \frac{{}^sU_m}{\sqrt{2}} & \longleftarrow & {}^sU_m = \sqrt{3} U_m \\ & & = \sqrt{3} \cdot \sqrt{2} U_{\text{ef}} \\ & & = \sqrt{6} U_{\text{ef}} \\ & & = \sqrt{6} \cdot 230 \text{ V} \\ & & \doteq 563 \text{ V} \\ & & \downarrow \\ & & \doteq 398 \text{ V} \end{array}$$

Efektivní hodnota sduženého napětí je často uváděna zaokrouhlená na 400 V.

☞ Zkuste vypočítat, jaké byly maximální a efektivní hodnoty fázového a sduženého napětí v minulosti, kdy bylo efektivní napětí v síti pouze 220 V.

<sup>10</sup>Během úprav použijeme vzorec  $\sin x - \sin y = 2 \cos \frac{x+y}{2} \sin \frac{x-y}{2}$  pro rozdíl goniometrických funkcí a vztah  $\cos \alpha = -\sin \left( \alpha - \frac{\pi}{2} \right)$ .



Do pětipólové „motorové“ zásuvky jsou přivedeny tři fázové vodiče  $L_1$ ,  $L_2$  a  $L_3$ , jeden střední vodič  $N$  a jeden ochranný vodič  $PE$ . Efektivní hodnota napětí mezi libovolným fázovým vodičem a vodičem středním je 230 V, a je to přesně to napětí, které je přivedeno do standardních zásuvek<sup>11</sup>. Efektivní hodnota sdruženého napětí mezi libovolnou dvojicí fázových vodičů je 398 V.

Třífázové motory využívají současně všechny tři průběhy fázového nebo sdruženého napětí. Pokud je vedení některé fáze poškozeno, motor se nemůže rozběhnout a pověstně „drnčí“.

- Jsou-li vinutí třífázového motoru zapojena na různá *sdružená napětí*, jde o zapojení **do trojúhelníku**.
- Pokud jsou vinutí třífázového motoru zapojena na různá *fázová napětí*, mluvíme o zapojení **do hvězdy**.

Vzhledem k tomu, že sdružené napětí je 1,7 krát větší než napětí fázové, podává motor zapojený do trojúhelníku větší výkon, než stejný motor zapojený do hvězdy. Pokud jsou obě zapojení motoru možná, jsou na jeho štítku uvedeny příkony pro obě konfigurace.

Motory s velkými příkony bývají kvůli značným proudovým nárazům při jejich startu spouštěny v zapojení do hvězdy a až poté dojde k přepnutí jejich vinutí do konfigurace trojúhelník. Vyhneme se tak případným problémům s jištěním, navíc tak nezatěžujeme síť zbytečně velkými proudovými špičkami.

Je-li zátěž souměrná, což je u třífázového motoru v dobré kondici splněno, není nutné při zapojení do hvězdy střední vodič vůbec zapojovat. To jsme ověřili i experimentálně – na svit soustavy stejných žárovek zapojených „ve hvězdě“ k třífázovému alternátoru nemělo odpojení středního vodiče žádný vliv. Z tohoto důvodu lze nejen ve starších rozvodech nalézt pouze čtyřpólové třífázové zásuvky, které kromě ochranného vodiče obsahují pouze tři fázové vodiče; střední vodič zde není k dispozici<sup>12</sup>. V dobách projektování těchto instalací byly používanými mobilními třífázovými spotřebiči převážně jen motory, případně svářečky. S tím, že na zásuvku v kulturním domě, zbudovanou pro výjimečné zapojení míchačky nebo brusičky parket, bude chtít někdo zapojovat TN-S rozvaděč pro napájení třeba ozvučení a osvětlení produkce, tehdy nikdo nepočítal<sup>13</sup>.

<sup>11</sup>Nicméně přímé zapojení jednofázových spotřebičů do motorové zásuvky není přípustné, protože motorové zásuvky bývají jištěny na mnohem větší proudy.

<sup>12</sup>Problematická je situace, kdy potřebujeme spotřebič nebo přenosný rozvaděč s „pětikolíkem“ zapojit na „čtyřkolík“. Bohužel pro řešení tohoto problému neexistuje jednoduché správné řešení. Opačná situace problematická není, pokud máme míchačku nebo cirkulárku s „čtyřkolíkem“, lze ji po kvalifikované výměně vidlice za „pětikolík“ s nezapojeným středním vodičem bez problému provozovat.

<sup>13</sup>Obecně je situace trochu složitější, v závislosti na tom, zda je síť typu TN-C či TN-S. V síti TN-C by totiž šlo o ochranný vodič typu PEN, tj. mohl by tedy pracovní funkci bez problému plnit. Pro zapojení moderního přístroje se samostatným středním vodičem  $N$  a ochranným vodičem  $PE$  by však bylo nutné vodič  $PEN$  rozdělit. Prosté rozdělení je ale nepřipustné, protože při přerušení vodiče  $PEN$  by se na neživých částech objevilo nebezpečné napětí a spotřebiče na různých fázích by byly připojeny sériově ke sdruženému napětí. Při správném řešení tohoto problému se místo rozdělení vodiče  $PEN$  na  $PE$  a  $N$  kvalitně uzemňuje. V případě, že jde o síť TN-S, kdy je v zásuvce vyveden pouze vodič  $PE$ , toto řešení použít nelze. Rozmyslete, co by dělal proudový chránič. Pak není jiná cesta, než rozvod „přesekat“, tedy přivést z rozvaděče nový kabel obsahující i střední vodič  $N$ . Každopádně je bezpodmínečně nutné svěříti se odborníkům!

Dalším v praxi častým jevem je situace, že vidlice třífázového spotřebiče má sice stejný počet pólů jako třífázová zásuvka, ale jejich spojení kvůli rozdílné velikosti nelze realizovat. Velikost zásuvek a vidlic totiž souvisí s jmenovitým proudem dané trasy. Čím je zásuvka větší, tím je větší jištění této přípojky. Nelze tak připojit spotřebič s menší vidlicí, který pro bezpečný provoz vyžaduje „menší“ jistič. Pokud by se tak učinilo, nemusel by být při případné poruše spotřebič odpojen a mohl by se zničit. Naopak provoz spotřebiče s většími nároky na jištění na „menším“ jističi je prakticky možný, nedochází-li k nechtěným výpadkům. Proto je běžně k dostání například redukce z 16 A vidlice na 32 A zásuvku. Ta by se mohla hodit, když bychom při fyzikální show v nějakém obchodním centru nebo kulturním zařízení používali větší školní vývěvu či motor a zapojovali bychom se na zásuvku třeba místo drtičky gastroodpadu.

★ ★ ★

Než začneme konečně odhalovat tajemství elektrické rozvodné sítě, představíme si na závěr zajímavé chování cívky s jádrem. Do cívky s 600 závitů, jejíž osa je rovnoběžná s rovinou stolu, vložíme asymetricky jádro a cívku. Připojíme-li cívku ke zdroji napětí, pozorujeme, že došlo ke vtáhnutí jádra, aby bylo přesně uprostřed cívky. Na jádro by se dala z jedné strany přidělat pružinka a nějaká tyčka, která by pak mohla do něčeho „štouchat“, když by jí tekla proud určité velikosti. A na tento mechanismus si vzpomeňme, až budeme rozebírat funkci elektromagnetické spouště jističe!

*Zde ukončíme v leccím alternativní výklad vybraných statí elektřiny a magnetismu, jehož cílem bylo, za daně lehkého přiohýbání historických souvislostí, organickým provázáním jednotlivých témat zaostřit na souvislosti fyzikální. Některé části předpokládaly nemalé zkušenosti s představenou látkou, další zase znalost diferenciálního počtu. Porozumění těmto částem jistě prohloubí míru pochopení navazujícího tématu rozvodných sítí, nicméně pro chápání stěžejních principů rozvodných sítí není vůbec nutné.*

## 4. Elektrická rozvodná soustava

### 4.1 Pozice ve výuce fyziky

Lze se ptát, zda je vůbec vhodné se tak úzce profilovaným a odborným tématem rozvodných sítí v rámci výuky fyziky zabývat. Je zcela jasné, že času není nazbyt, je toho tolik, co by absolvent středoškolské fyziky mohl znát. Možná nás ale následující autentický příběh smrti mladého člověka, který možná uměl i Kirchhoffovy zákony, přiměje přehodnotit výukové priority.

† **HROBAŘ: Proč zabíjel prodřený prodlužovák?** Pan Horský byl přivolán do objektu, kde se stal smrták. Rodiče tu včera našli syna ležet vedle vany. První, co mu pan majitel říká: „No, víte, nám pračka vyhazovala tady ten jistič.“ Pan Horský se dívá do rozvaděče a odvětí: „Jistič? Jaký jistič? Proudový chránič myslíte!“ „No já nevím, co to je,“ reaguje zdrcený otec.

Při sepisování papírů pan Horský hořekuje se svým kolegou. „Chyba číslo jedna, laik vůbec netuší, co všechno je v rozvaděči jistič. A to jsou ještě ti chytřejší, ti ostatní do toho tahají pojistky. Pánovi vyhazovala pračka proudový chránič, tak natáhl elektriku z kuchyně, kde chránič nebyl, tak mu to fungovalo. Jenže ten prodlužovák byl uprostřed prošoupaný a obtočený izolačkou. Koupelna vlhká, uprostřed odpad, syn se šel koupat a dokoupal se. Vlhko a porušený prodlužovák napojený ze zásuvky bez proudového chrániče vykonal své.“

„Souhlasím s tebou, je to problém,“ reaguje kolega, „chyba je v tom, že oni neumí správně vyhodnotit situaci. Električka je pro ně svítí/nesvítí, televize hraje/nehraje. Nějakým způsobem si to vyřešíme sami. Až když to nezvládneme, zavoláme elektrikáře. Ale oni na to doplatili.“

„Jak říkáš, měl zavolat opraváře na pračku, když mu začal vypadávat proudový chránič. Přestože si myslel, že je to jistič, měl jednoduše volat opraváře. Ten by mu ji za 2000 Kč opravil. A tahle suma je v tomto případě cena života. Dost hrozná.“



*Rozhovor s elektrotechnickým projektantem z (elektrika.cz, 2016),  
citlivě převedený do formy příběhu.*

Elektrikáři, kteří v příběhu diskutují reálnou událost, při které zemřel mladý člověk pouze proto, že jiní kvůli své „elektrické negramotnosti“ podcenili možné nebezpečí, se v závěru článku ptají:

„Co udělat pro prevenci takových situací? Máte nějaký návrh?“

Ano zcela jistě máme – musíme šířit osvětu. Ale kde? Vždyť v rodinné výchově mají preferenci palčivější otázky... Nuže, není to tedy na nikom jiném, než na učitelích fyziky. A neberme to jako zatěžující poslání, zpravidla je totiž radostné. Vždyť žáci jsou s praktickým používáním elektrické sítě v bezprostředním kontaktu a ono poodkrývání tajemství, to dobrodružné řečiště drátů a ochranných mechanismů skrývajících se za elektrickou zásuvkou, je zajímavá a fascinuje.

Každý z nás je k činnosti zcela jinak motivován, je-li tažen určitou silnou osobní zkušeností. Ta moje byla nabyta na akademické půdě jedné pražské fakulty Univerzity Karlovy, konkrétně na podlaze posluchárny, kde ležela — ona. Představte se – vícenásobná prodlužovací šňůra, viz obrázek 4.1.



(a) Vzezření běžné postarší prodlužovací šňůry (b) Přerušený ochranný vodič v přívodu

Obrázek 4.1: Vícenásobná prodlužovací šňůra s přerušeným ochranným vodičem

V ideálním případě bychom mohli přesně vědět, co používání takové šňůry může způsobit. Když to přesně nevíme, alespoň by nám měla zdravá intuice při pohledu na odhalený vodič vnutit pocit nebezpečí a donutit nás šňůru z provozu vyřadit. Anebo také můžeme použít „selský rozum“; zapojíme nějaký spotřebič, ten funguje, z čehož vyvodíme, že prodlužovák je v pořádku. A on není! Ve stejné přihrádce jsou i stále populární „dvojlinkové prodlužováky“ s trojpolovým zakončením. Nebo zapojování třífázových spotřebičů s  $n$ -kolíkem do  $m$ -kolíku, kde zpravidla  $n \neq m$ . Také používání naseknuté šňůry k sekačce s tím, že je to v „cajku“, přerušil se pouze ten „nepotřebný“ zelenožlutý vodič, není výjimkou.

Vše zmíněné má jeden společný rys. Vždy jsou ohroženi nic netušící uživatelé. Zvládneme zvýšit podíl „něco tušících“? Ano, pokud se nám podaří živým způsobem začleňovat toto osvětové téma do výuky fyziky. Pak půjde ve škole skutečně o život! A já bych si přál, aby tomu tak bylo – budme pro život!

A pozor, nepřicházíme s žádnou novinkou! Při procházení zdrojů souvisejících s rozvodnou sítí jsme viděli, že za účelem zvyšování „elektrotechnické gramotnosti“ bylo již v minulosti nemálo materiálu teoretického i praktického charakteru vytvořeno, stejně jako celá řada učitelů své žáky touto problematikou bez vědomí nadstandardu s velkým entuziasmem běžně provádí.

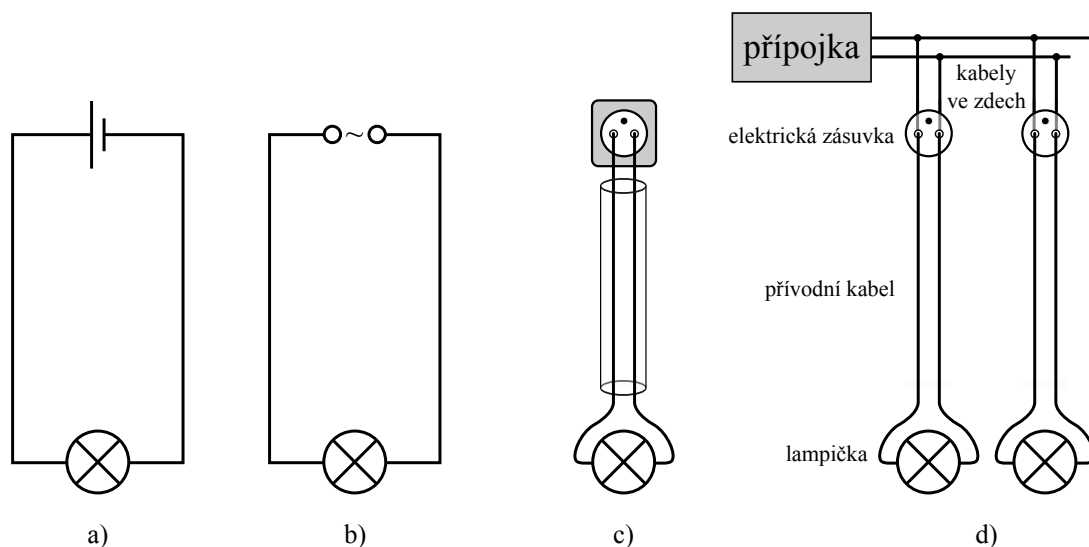
## 4.2 Rozvodná soustava a potřeba její ochrany

### 4.2.1 Jak budeme kreslit elektrická schémata

Distributor elektrické energie je povinen zajistit spolehlivý přenos elektřiny k zákaznickově přípojce, z fyzikálního hlediska to znamená, že mezi vodiči přípojky bude stanovené napětí a lze odebírat smluvně dohodnutý výkon<sup>1</sup>.

Na tuto přípojku proto můžeme nahlížet jako na centrální zdroj střídavého napětí pro síť spotřebičů v budově a o zbylou část distribuční a přenosové sítě se nyní nestarat.

Než začneme kreslit elektrickou síť budovy, tj. zapojení spotřebičů k tomuto lokálnímu zdroji, provedeme modifikaci obvyklého způsobu kreslení elektrických schémat, aby schémata více odpovídala reálnému uspořádání domovních rozvodů<sup>2</sup> a současně zachovávala přehlednost užitečnou při hledání řešení poruchových a nebezpečných situací. Nad takovými schématy budeme snadněji diskutovat rizika zapojení a budeme se je snažit postupně eliminovat přidáváním různých ochranných prvků a mechanismů.



Obrázek 4.2: Od jednoduchého schématu ke schématu elektrické sítě v budově

Žárovka, jakožto jednoduchý spotřebič, svítí, jestliže je v obvodu zařazen funkční zdroj a je-li obvod tvořený vodiči uzavřen. Jde o jednoduchý obvod, který tradičně reprezentujeme elektrickým schématem na obrázku 4.2a).

Aby představené schéma jednoduchého obvodu modelovalo zapojení lampičky, například k čerstvě vybudované elektrické přípojce novostavby, musíme nahradit stejnosměrný zdroj zdrojem střídavým, viz schéma 4.2b).

Lampička, stejně jako ostatní spotřebiče, rozhodně nemá oba vodiče vedené odděleně, jak kreslíme ve schématech, podle kterých sestavujeme obvody v laboratorních cvičeních. Samostatně izolované vodiče jsou zataveny do společného

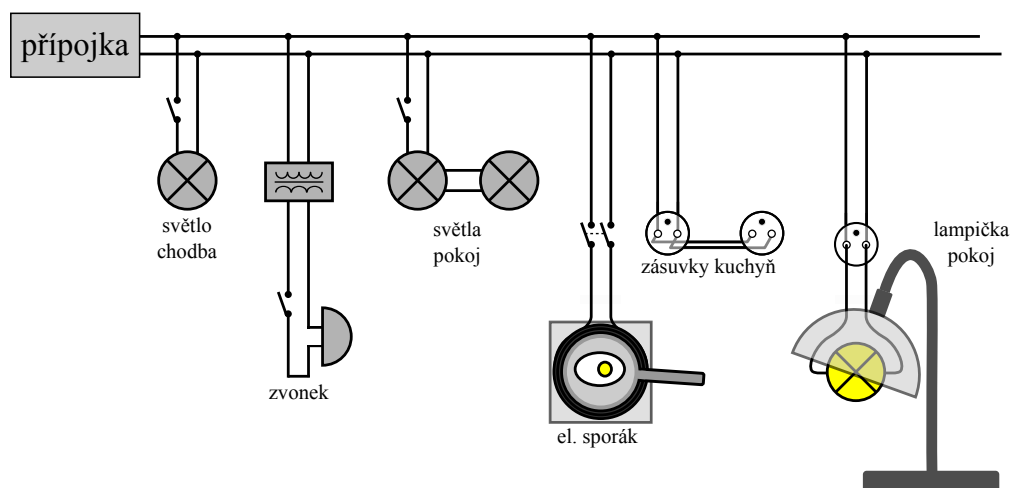
<sup>1</sup>Odebíraný výkon je omezen „velikostí“ hlavního jističe, který bývá zaplombován a je zanesen v příslušné smlouvě.

<sup>2</sup>Například elektrická zásuvka by se v tradičním schématu, pro které představuje nepodstatné vodivé spojení dvou vodičů, zřejmě vůbec nekreslila, zatímco reálně může být tato nezájímavá „pasivní“ součást zdrojem nemalých problémů, jak uvidíme později.

přívodního kabelu lampičky a jsou zakončeny vidlicí, kterou spotřebič připojujeme do zásuvky. Praxi lépe vystihující je tedy schéma na obrázku 4.2c).

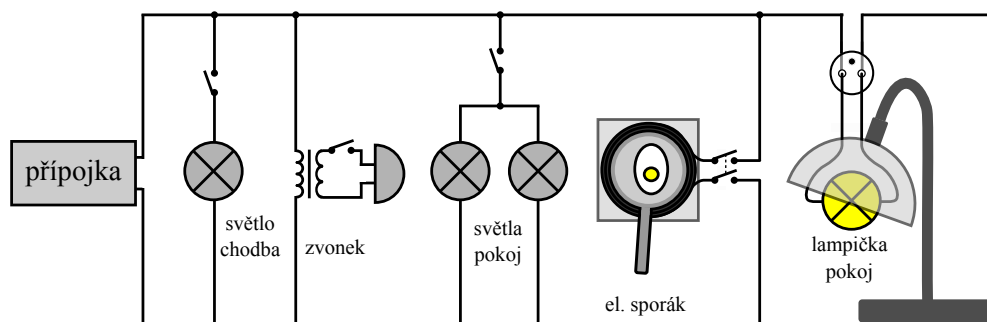
V domě si jistě nevystačíme s jedním spotřebičem připojeným k jedné zásuvce. Sít je rozsáhlejší. Proto budeme jednotlivé zásuvky, u kterých nebudeme kreslit rámeček, připojovat na hlavní vodorovně kreslené vedení a naznačení přívodních kabelů vynecháme zcela, viz obrázek 4.2d). Co míníme hlavní přípojkou později ještě upřesníme.

**Příklad 3.** *Nakreslete schéma elektrické sítě v garsonce se zvonkem, elektrickým sporákem, světly a zásuvkami.*



Obrázek 4.3: Schéma zapojení spotřebičů k hlavní přípojce v garsonce

**Příklad 4.** *Překreslete schéma sítě se spotřebiči z příkladu 1 do schématu, ve kterém bude jasně vidět, zda jsou spotřebiče zapojeny sériově nebo paralelně.*



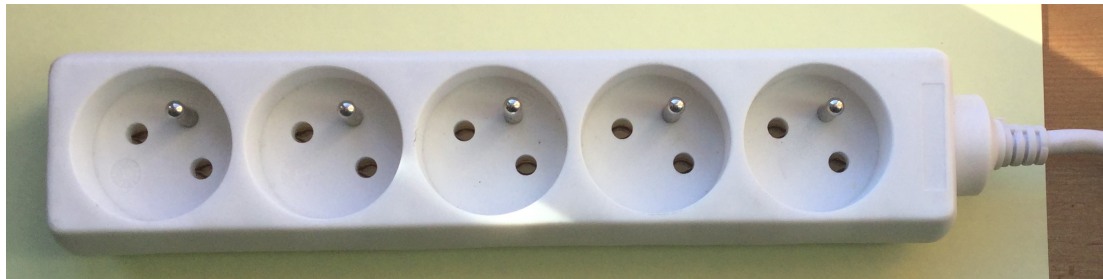
Obrázek 4.4: Překreslené schéma zapojení spotřebičů k hlavní přípojce v garsonce

Spotřebiče v elektrické síti jsou zapojeny vždy **paralelně**, jak je patrné z obrázku. Vypnutí některého ze spotřebičů nezamezí průchodu proudu žádným dalším. Napětí na všech spotřebičích je stejné<sup>3</sup>, nijak se mezi ně nedělí.

Obrázek 4.3 názorně zobrazuje zapojení jednotlivých spotřebičů k elektrické přípojce. Je tu ale několik rozporů s našimi zkušenostmi:

<sup>3</sup>Odhlédneme-li od úbytků napětí při zátěži na různě dlouhých vedeních.

1. Zásuvky, které známe, mají kromě dvou dutinek i kolík. Ve schématech ho sice zakreslen máme, ale nemá žádnou funkci<sup>4</sup> (není nijak zapojen).
2. Někdy slýcháváme, že jedna z dutinek zásuvky je „nebezpečnější“, rozlišuje se „fáze“ a „nulák“. Ve schématu je ale situace pro vodiče zapojené na dutinky až na umístění vypínačů zcela symetrická.
3. V případě některých poruch se stává, že se spálí pojistka, resp. „spadne“ jistič. Tyto ochranné prvky ve schématu ale zahrnuty nemáme.



Obrázek 4.5: Zásuvky vícenásobné prodlužovací šňůry – nad zdířkami se pne kolík.

Naše další směřování by mělo vést k odhalení:

- (i) Jakou funkci má v zásuvkách ochranný kolík.
- (ii) Jaké ochranné prvky jsou v síti zařazeny a jak jsou zapojeny. Před čím chrání a před čím nikoli.
- (iii) Popřípadě, zda pojmenování a „nebezpečnost“ zdířek v zásuvce nesouvisí s principem funkce příslušných ochranných mechanismů.

## 4.2.2 Domovní přípojka pod drobnohledem

Než se pustíme do postupného budování ochrany sítě, musíme upřesnit, jak vypadá elektrická přípojka do domu.

Přípojení do budov bývá obvykle třífázové. Znamená to, že do domu vedou prostřednictvím typicky čtyřvodičového nadzemního vedení, či podzemního kabelu tři fázové vodiče a vodič střední.

Tabulka 4.1: Tabulka vodičů při třífázovém připojení

| Název vodiče    | Označení <sup>5</sup> | Původ v třífázovém tranfs.        |
|-----------------|-----------------------|-----------------------------------|
| 3 fázové vodiče | $L_1, L_2, L_3$       | vývody konců tří cívek            |
| 1 střední vodič | $N$                   | vývod spojených zbývajících konců |

Připomeňme, že sekundární strana distribučního transformátoru, ke které vede zmíněný čtyřvodičový kabel, je tvořena trojicí cívek. Jak jsou vodiče zapojeny na vývody cívek rekapitulujme tabulkou 4.1.

<sup>4</sup>Vynecháme-li to, že díky němu síťová vidlice v zásuvce lépe drží..

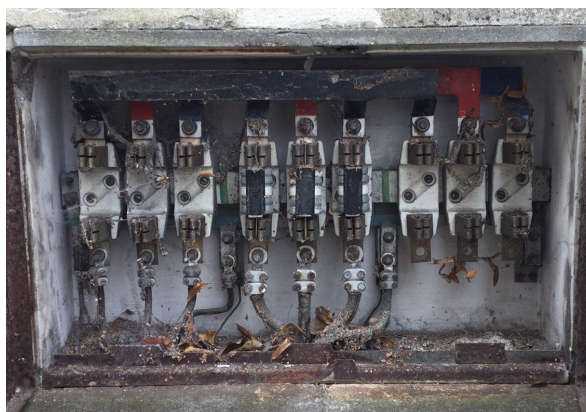
<sup>5</sup>Můžeme si pamatovat z anglického pojmenování „Live“ – živý – pro fázové vodiče, „Neutral“ – neutrální – pro vodič střední, neboť ten je v místě transformátoru i přípojky obvykle spojován se zemí, tedy vůči zemi „zbezpečněn“.

## Jak vypadá domovní elektrická přípojka?

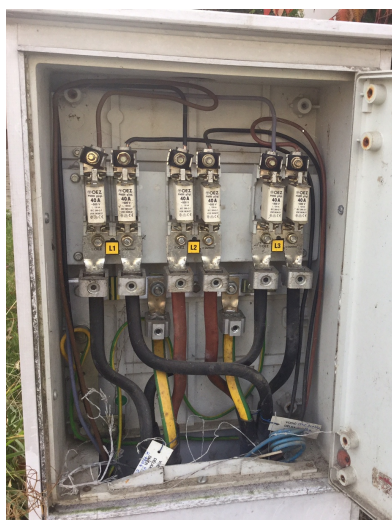
Na obrázku 4.6 je znázorněna cesta přívodu elektrické energie z distribučního transformátoru do bytové rozvodnice, ke které při poruše spěcháme se slovy „jdu nahodit pojistky“, i když už na místě pojistek (tavné drátky v porcelánovém pouzdře) bývají dávno jističe (páčkou „nahoditelné“ ochranné prvky).



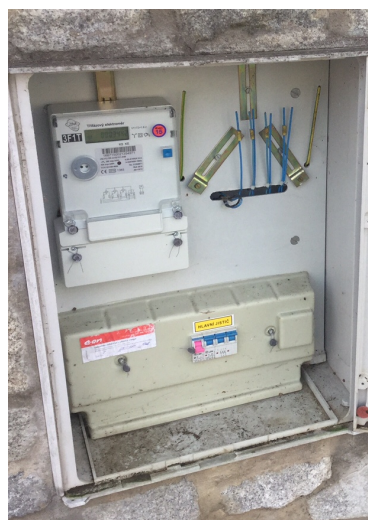
(a) Distribuční transformátor



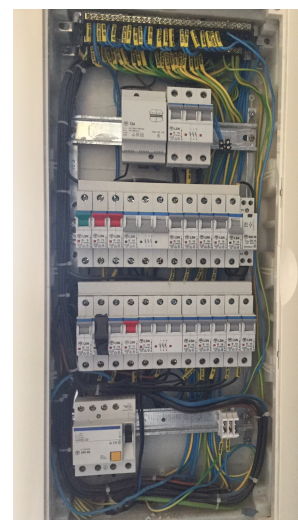
(b) Rozpojovací skříň (torzo)



(c) Přípojková skříň



(d) Elektroměrový rozvaděč



(e) Bytový rozvaděč

Obrázek 4.6: Cesta od distribučního transformátoru k bytovému rozvaděči

*Následující popis obrázku 4.6 obsahuje pro úplnost několik komentářů, které používají pojmy, jejichž obsah ještě nebyl představen (rozdělení vodiče PEN na PE a N, síť TN-C a TN-S, apod.). Doporučujeme se k této části vrátit po nastudování celého textu.*

- Do **distribučního transformátoru** je přiváděna elektrická energie prostřednictvím tří vodičů z vedení vysokého napětí (zde z podzemního vedení 22 kV). Následně dochází ke transformaci na nízké napětí 230 V, resp. 400 V. Ze sekundární strany transformátoru, jehož cívky jsou zapojeny do (lomené) hvězdy, je kromě třech fázových vodičů vyveden i střední vodič N, který je hned u transformátoru uzemněn. Z toho důvodu ho budeme označovat jako vodič PEN (namísto N).
- Čtyři vodiče velkých průřezů s hliníkovými jádry pokračují dále, buďto izolovaně podzemním kabelem nebo volně nadzemním vedením, do případných **rozpojova-**



**cích skříní**, ve kterých je možné provést rozbočení vedení (např. do postranních ulic). Jednotlivé odbočky vedení zde bývají jištěny nožovými pojistkami<sup>6</sup>.

- (c) Čtyřvodičové vedení pokračuje dále, v našem případě podzemním kabelem, a cestou „potkává“ **přípojkové skříně** jednotlivých objektů. Ty obsahují opět nožové pojistky, na které je připojeno *hlavní domovní vedení*, kterým již tečou proudy odebírané pouze spotřebiteli připojeného objektu<sup>7</sup>.
- (d) Z přípojkové skříně vede čtyřvodičový kabel, s měděnými jádry mnohem menšího průřezu, do **elektroměrového rozvaděče**. Elektroměrový rozvaděč obsahuje hlavní jistič, elektroměr a případně zařízení HDO (hromadného dálkového ovládní). Instalace je zaplombovaná, aby bylo znemožněno obcházení elektroměru nebo výměně jističe. Cesta k navýšení proudové hodnoty hlavního jističe, který je vždy předřazen elektroměru, začíná podáním žádosti distribuční společnosti. Pokud nesledujete svou spotřebu, i tak se k tomuto rozvaděči možná někdy vydáváte, protože při některých poruchách dochází ke „spadnutí“ nejen jističe příslušného okruhu v bytovém rozvaděči, ale i zde umístěného hlavního jističe. V místě elektroměrového rozvaděče také bývá provedeno rozdělení vodiče PEN na střední vodič N a ochranný vodič PE, které je uzemněno. Elektroměrová skřín může obsahovat elektroměry pro více bytů. Každému elektroměru pak náleží odběrné místo, smlouva o připojení a příslušný bytový rozvaděč.
- (e) Z elektroměrového rozvaděče vede čtyřvodičový nebo pětivodičový kabel do **bytového rozvaděče**. O počtu vodičů kabelů rozhoduje, zda je síť typu TN-C nebo TN-S. V bytovém rozvaděči všechny vodiče, s výjimkou ochranného PE vodiče, nejprve projdou proudovým chráničem (pokud je instalován) a dále směřují ke spotřebičům. Do cesty fázových vodičů směřujících ke skupinám zásuvek a světel jsou vřazeny jističe, které slouží k ochraně takto určených *zásuvkových a světelných okruhů*. Aby byla síť rovnoměrně zatěžována a současně byla hospodárně využita velikost hlavního jističe, jsou okruhy rozděleny mezi všechny tři fáze.

*V uvedených bodech jsme popsali třífázové připojení domu. Při jednofázovém připojení vede do hlavního jističe pouze jeden fázový vodič, ten spolu s vodičem PEN pak přes jednofázový elektroměr směřuje dvouvodičovým nebo třívodičovým kabelem k bytovému rozvaděči. Je-li na přípojkovou skřín zapojeno více jednofázových odběrných míst, jsou rozděleny mezi všechny tři fáze, čímž je realizována snaha souměrného zatěžování sítě.*

**Jak poznat, zda je připojení jednofázové nebo třífázové?** Připojení domácnosti je určité třífázové, pokud se v ní používá nějaký třífázový spotřebič. Ten poznáme podle jeho vidlice a zásuvky, do které se připojuje. Třífázová zásuvka i vidlice jsou oproti jednofázovým „mohutnější“ a mají čtyři nebo pět kontaktů. Některý třífázový spotřebič však může být zapojen přímo do rozvaděče, takže vidlici nemá. I ten je ale, stejně jako okruhy třífázových zásuvek, jištěn třífázovým jističem<sup>8</sup>. Nejsou-li žádné třífázové spotřebiče ani třífázové zásuvky instalovány, pak se takový jistič v bytovém rozvaděči nenachází. Přesto mohou jednofázové spotřebiče využívat různé fáze třífázové přípojky. V takovém případě rozhodneme podle hlavního jističe u elektroměru, který je při třífázovém připojení třífázový<sup>9</sup>.

<sup>6</sup>Na obrázku 4.6(b) je torzo rozpojovací skříně. K rozpojení nikdy nesloužila, pravý segment byl zřejmě pouhou rezervou pro případnou budoucí odbočku (bez zapojení i bez pojistek).

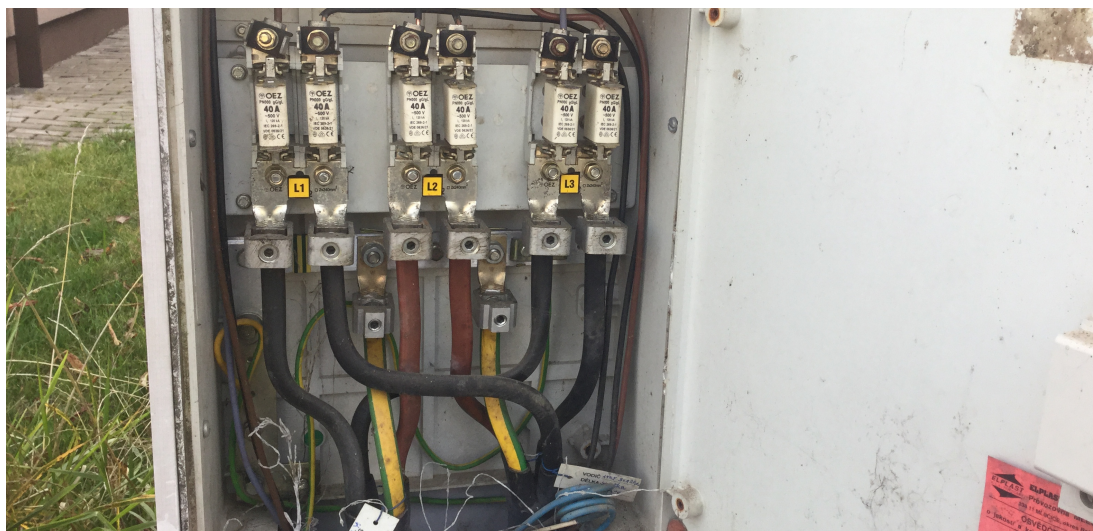
<sup>7</sup>Hlavní domovní vedení, z něhož jsou vedeny odbočky k elektroměrům jednotlivých bytů, může být v případě panelových domů součástí „stupaček“.

<sup>8</sup>Ten poznáme snadno, je tvořen třemi vzájemně spřaženými jednofázovými jističi vedle sebe (páčka „ovládá“ jističe všech tří fází).

<sup>9</sup>A ostatně na elektroměru i ve smlouvě lze informaci o třífázovém připojení najít.

**Příklad 5.** Na obrázku 4.7 je vyfocena přípojková skříň společná pro dva sousední rodinné domy. Odhadněte, které kabely kam směřují a identifikujte střední a fázové vodiče.

Vidíme, že z pravého kabelu je na robustní svorkovnice přivedena čtveřice tlustých vodičů. Tento podzemní kabel přivádí elektřinu z distribučního transformátoru<sup>10</sup>. Ze svorkovnic se pak čtveřice stejně tlustých vodičů prostřednictvím druhého kabelu vrací do země a směřuje k dalším přípojným skříňkám vzdálenějších domů.



Obrázek 4.7: „Průchozí“ třífázová elektrická přípojka dvou sousedících domů

Sledujme nyní vodiče diskutovaných kabelů. Tři z nich (2 černé a 1 hnědý) jsou fázové vodiče (svorkovnice L1, L2 a L3), čtvrtý vodič je vodič střední (zeleno-žlutý) a má speciální svorkovnici pod úrovní svorkovnic fázových vodičů.

K těmto svorkovnicím jsou připojeny dva čtyřvodičové kabely mnohem menších průřezů, které vedou elektřinu k elektroměrným skříním obou domů. Nelze si nevšimnout, že fázové vodiče obou domovních sítí jsou připojeny přes nožové pojistky s velkým jmenovitým proudem (40 A).

\*\*\*

Od sekundární strany místního distribučního transformátoru až ke spotřebiteli jsou mezi vodiči následující hodnoty efektivních napětí:

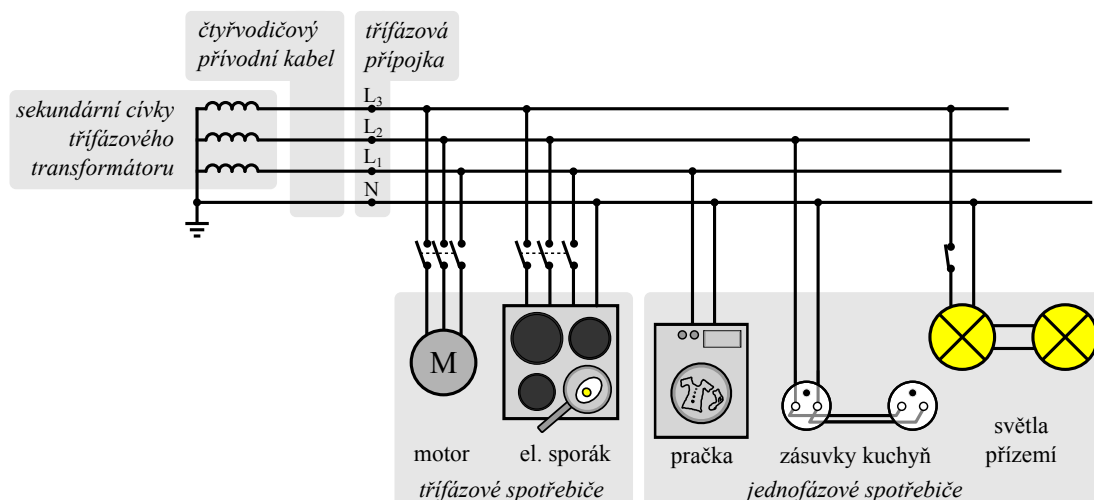
|       |                                    |                        |
|-------|------------------------------------|------------------------|
| 230 V | mezi fázovým a středním vodičem    | <b>fázové napětí</b>   |
| 400 V | mezi dvěma různými fázovými vodiči | <b>sdružené napětí</b> |

Všechna napětí jsou v naší třífázové soustavě v ideálním případě harmonického průběhu s frekvencí 50 Hz.

<sup>10</sup>Kabel co směřuje k transformátoru jsme poznali díky štítku, kterým byl kabel v době výstavby inženýrských sítí opatřen.

*Již víme, kolik vodičů vede z distribučního transformátoru k domu, známe jejich názvy a napětí mezi nimi, dokonce jsme prozkoumali konkrétní technické řešení připojení na vysoce dimenzovaný rozvod ulic. Ale ještě tu něco chybí – úplně jsme zapomněli na spotřebiče! Mezi které vodiče z těch čtyř je vlastně připojujeme?*

Příklad připojení vybraných spotřebičů k třífázové přípojce je na následujícím obrázku 4.8. V levé části přípojky máme zakreslenou i situaci směrem k distribučnímu transformátoru, abychom viděli původ fázových vodičů a středního vodiče<sup>11</sup>. Všimněme si, že střední vodič je u transformátoru uzemněn.



Obrázek 4.8: Zapojení jednofázových a třífázových spotřebičů k třífázové přípojce

## Jednofázové spotřebiče

Typické spotřebiče menších příkonů a klasické zásuvky se připojují na fázové napětí 230 V, tj. mezi některý fázový (L1, L2, L3) a střední (N) vodič. Ve snaze zatížit síť symetricky se pak oddělené okruhy těchto jednofázových spotřebičů připojují na různé fáze. V elektrické síti na obrázku máme pračku na fázi L1, zásuvky v kuchyni na fázi L2 a světla v přízemí na fázi L3.

## Třífázové spotřebiče

Složitější spotřebiče a spotřebiče větších příkonů mohou využít:

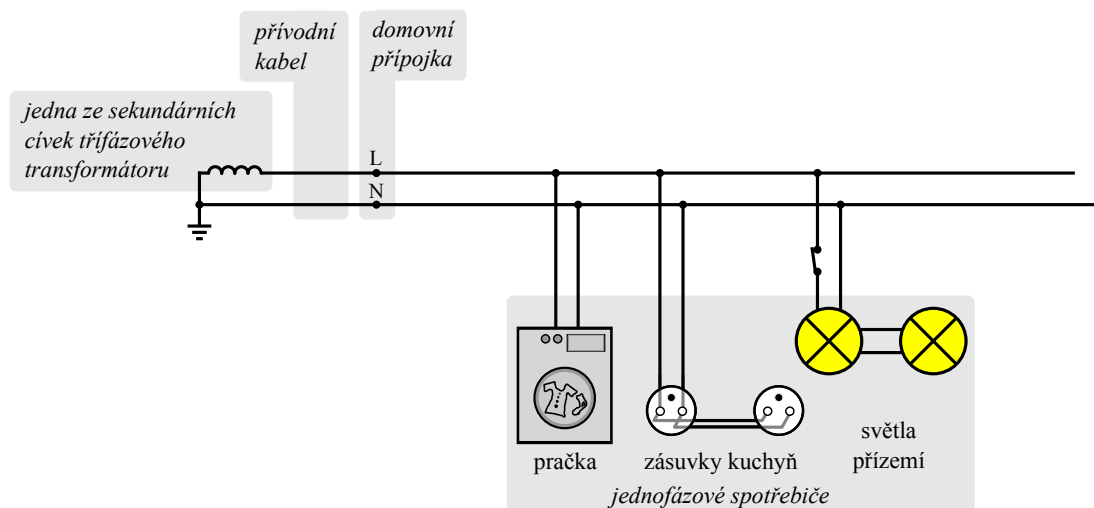
- trojici fázových napětí 230 V mezi fázovými a středním vodičem – tímto způsobem je na obrázku 4.8 zapojen elektrický sporák,
- trojici sdružených napětí 400 V mezi dvěma různými fázovým vodiči – tímto způsobem může být na obrázku 4.8 zapojen elektromotor.

Pro naše další úvahy nebudeme potřebovat třífázové spotřebiče, postačíme si tedy s jednofázovým připojením. To znamená, že námi zkoumaná elektrická síť bude používat pouze jedno z fázových napětí, do objektu povedou dva vodiče

<sup>11</sup>Do schématu prozatím nezakreslujeme pojistky, jističe, či elektroměrné hodiny.

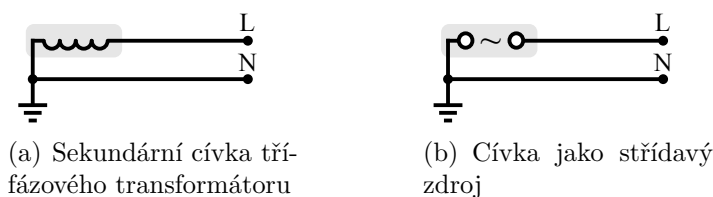
– střední vodič (N) a vybraný fázový vodič (L). Reálně se může jednat např. o bytovou jednotku s menším odběrem, kde se nepředpokládá užívání třífázových spotřebičů.

Ve schématech tedy budeme z celé sekundární strany třífázového distribučního transformátoru kreslit pouze jednu cívku odpovídající používané fázi. Tato cívka bude střídavým zdrojem napětí 230 V pro naše jednofázové spotřebiče<sup>12</sup>. Viz obrázek 4.9.



Obrázek 4.9: Příklad elektrické sítě jednofázových zásuvek a spotřebičů

Na zdrojový prvek obvodu s cívkou, viz obr. 4.10(a), která představuje jednu ze tří cívek sekundární strany třífázového distribučního transformátoru, nahlížeje jako na běžný střídavý zdroj, viz obr. 4.10(b), s tím rozdílem, že jeden z pólů zdroje, odpovídající střednímu vodiči, je spojen se zemí – uzemněn. Snahou je, aby byl střední vodič uzemněn nejen v místě distribučního transformátoru, ale i průběžně na více místech, např. v elektroměrové skříni. Díky tomu je totiž vodič „ztotožněn“ se zemí, má vůči zemi nulové napětí. Je-li střední vodič tímto způsobem spojen se zemí, můžeme hovořit speciálně o *nulovém vodiči*.



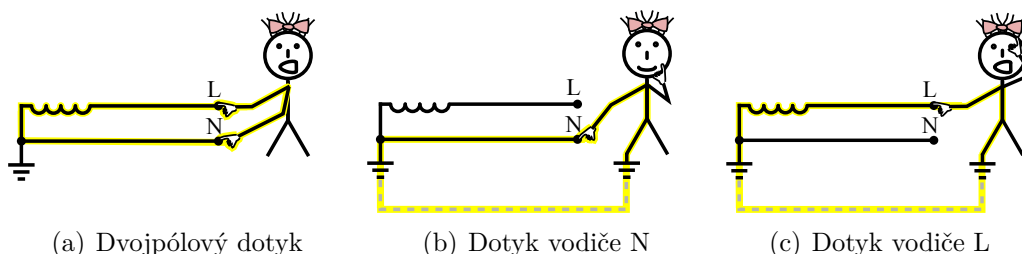
Obrázek 4.10: Domovní jednofázová přípojka jako zdroj napětí

### 4.2.3 Rizika jednopólových a dvojpólových dotyků

Ztotožnění potenciálu středního vodiče s potenciálem země, tj. jejich průběžně pospojování, zajišťuje, že je mezi nimi nulové napětí. Jejich vodivé spojení, např. člověkem, pak není nebezpečné.

<sup>12</sup>Jednofázovými spotřebiči budeme rozumět ty, které ke své funkci potřebují jedno fázové napětí. Jejich vidlice zapojujeme do běžné jednofázové zásuvky prostřednictvím dvojpólové či trojpólové vidlice.

Možné situace nebezpečných dotyků vodičů jednofázového rozvodu máme na obrázku 4.11. Ze skutečnosti uzemnění středního vodiče a faktu, že země i lidské tělo jsou vodiči elektrického proudu, pro situace na obrázcích 4.11(a), 4.11(b), 4.11(c) vyplývá následující:



Obrázek 4.11: Možnosti dotyku vodičů v případě jednofázové přípojky

- (a) Dvoupólový dotyk znamená připojení lidského těla, jako rezistoru, ke zdroji napětí 230 V. Tato situace je fatální, jak vyplývá z odhadu<sup>13</sup> člověkem tekoucího proudu.

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} \approx 115 \text{ mA}.$$

Dlouhodobější vystavení takovému proudu způsobuje trvalou zástavu srdce (např. wikiskripta.cz, 2016). Při těchto proudech se člověk z křečovitého sevření nemůže sám uvolnit. Tato nebezpečná situace nastává bez ohledu na uzemnění středního vodiče.

- (b) Jednopolový dotyk středního vodiče (N) je díky spojení vodiče se zemí bezpečný. Obvod je sice přes člověka a skrz zem uzavřen, ale neobsahuje zdroj. Tělem neteče nebezpečný proud. Tím jsme potvrdili to, že jedna zdírka zásuvky, na kterou je zapojen střední vodič, by měla být bezpečnější<sup>14</sup>.
- (c) Jednopolový dotyk fázového vodiče (L) je bohužel velmi nebezpečný. Obvod se opět uzavírá přes člověka a skrz zem, tentokrát ale obsahuje zdroj! Je-li odpor zemního spojení dostatečně malý, je nebezpečnost situace srovnatelná s dvojpólovým dotykem na obrázku 4.11(a). Poznamenejme, že je-li člověk od země dobře izolovaný, např. má boty s dostatečně izolující podrážkou, proud se nemá kudy uzavřít a dotyk nemusí mít žádné následky. Tedy až do okamžiku, než se omylem druhou rukou dotkne topení, vodovodní baterie, či jiného se zemí spojeného předmětu.

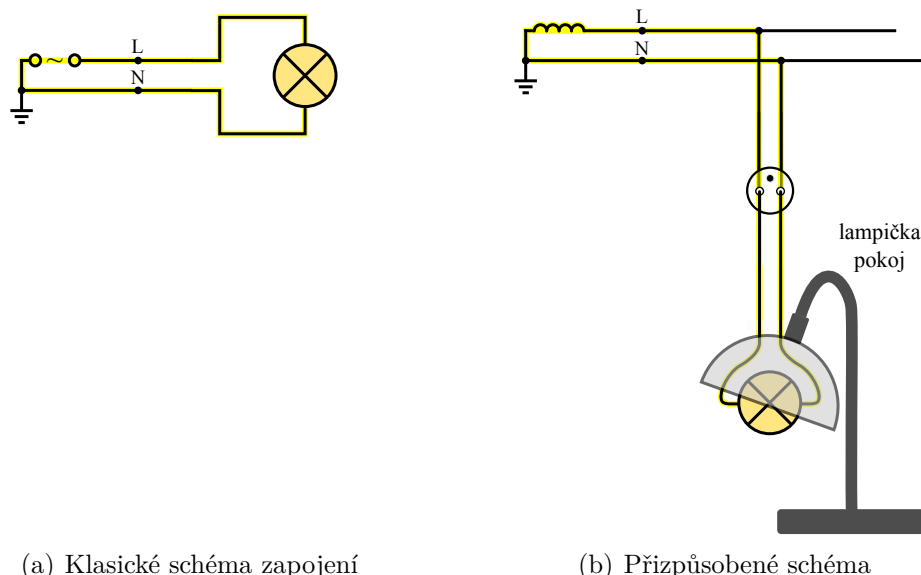
<sup>13</sup>Pro odhad proudu je třeba znát řádovou velikost odporu lidského těla, v tomto případě části těla mezi rukama. Tento odpor je závislý na řadě faktorů (vlhkost kůže, velikost člověka, pitný režim, atd.), ohmmetrem velký rozptýl hodnot snadno ověříme. Uvažujme hodnotu 2 kΩ převzatou z (Meduna, 2016, str. 3)

<sup>14</sup>Záměrně prováděné dotyky však nerealizujeme, nemůžeme si být jisti, že je zásuvka zapojena podle normy. Navíc vlivem poruchy se může stát, že i tato „bezpečná“ zdírka může být velmi nebezpečná.

## 4.2.4 Po stopách rizik elektrické sítě

Prsty dobrovolně přímo k vodičům elektrické přípojky nebo do zdírek zásuvek nestrkáme. Situace na obrázku 4.11 jsou tedy spíše principiální a modelové. Extrahujeme z nich však skutečnost, že dotykem fázového vodiče nabízíme proudů alternativní cestu k uzavření obvodu zemí, a to bohužel přes nás.

Zabývejme se nyní reálnější situací. K přípojce zapojme nějaký jednoduchý spotřebič, např. lampičku!



Obrázek 4.12: Schémata zapojení žárovky k domovní jednofázové přípojce

Klasicky bychom kreslili obvod typu 4.12(a). Pro naše účely bude výhodnější držet se úmluvy a situaci zkoumat na rozkresleném schématu 4.12(b). V obou schématech je žlutě vyznačena cesta proudu, obvod je uzavřen a žárovka svítí.

Představené zapojení bez jakýchkoliv ochranných prvků odpovídá době prvotních pokusů předcházejících plošné elektrizaci v polovině 19. století (Žilavý, 2012, str. 40). Konkrétní oblasti možných rizik elektrické sítě zachycuje následující diagram 4.13.



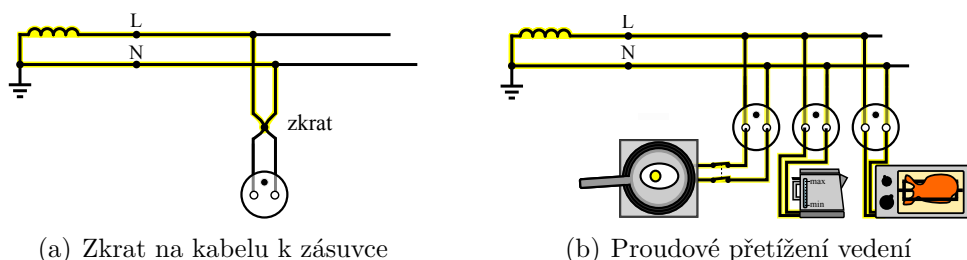
Obrázek 4.13: Diagram obecných rizik hrozících v nechráněné elektrické síti.

Jednotlivá rizika nyní přiblížíme na konkrétních příkladech.

## Riziko zkratu a přetížení

Uzavření smyčky, ve které není přítomen spotřebič, například vodivé spojení fázového a středního vodiče, označujeme jako **zkrat**. Nízký odpor vedení způsobí obrovský proud. Velké uvolňované teplo způsobí až požár, není-li vadná část obvodu neprodleně odpojena. Viz 4.14(a), kde bylo zkratováno vedení k zásuvce.

Je-li vedení v pořádku, ale je zatěžováno proudem, na který není dimenzováno, hovoříme o **přetížení**. Pokud je celkový proud odebíraný spotřebiči v dané části sítě příliš velký, dochází k nepovolenému oteplení kabelů i kontaktů a hrozí poškození elektroinstalace. Viz 4.14(b), kde je okruh přetěžován současným užíváním spotřebičů s velkým příkonem.



(a) Zkrat na kabelu k zásuvce

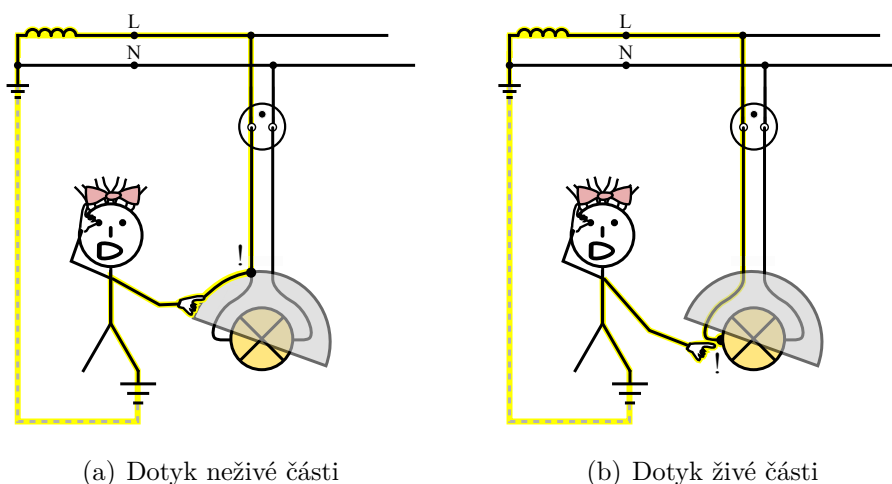
(b) Proudové přetížení vedení

Obrázek 4.14: Rizikové situace, při kterých hrozí škoda na majetku

## Riziko dotyku neživé a živé části

Jestliže se vlivem poruchy dostane nebezpečné napětí na část, na které by při běžném provozu nemělo být, říkáme, že hrozí nebezpečí dotykem **neživé části**. Na obrázku 4.15(a) se prodřela izolace přívodní šňůry a fázové napětí se dostalo na kovové stínítko lampičky.

Spotřebiče obsahují některé části, na kterých se funkčně vyskytuje nebezpečné napětí. V takovém případě hovoříme o ochraně před dotykem **živé části**. Živými částmi jsou například přípojná místa přívodních vodičů, vinutí motorů či topné spirály. Na obrázku 4.15(b) je vyobrazen dotyk kontaktu objímky žárovky.



(a) Dotyk neživé části

(b) Dotyk živé části

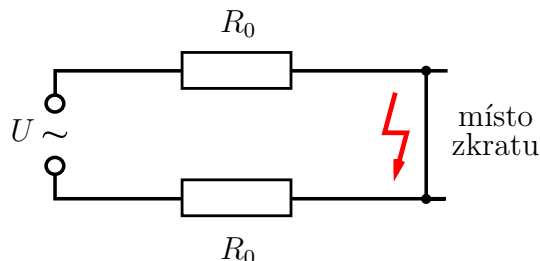
Obrázek 4.15: Rizikové situace, při kterých je ohroženo lidské zdraví

**Příklad 6.** Odhadněte velikost zkratového proudu v obvodu na obrázku 4.14(a), došlo-li ke zkratu v nechráněné smyčce v místě 20 m od rozvaděče. Jaký je tepelný výkon smyčky během zkratu? Vedení je realizováno měděnými vodiči s průřezem  $1,5 \text{ mm}^2$  a rezistivitou  $\rho = 0,0169 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ . Pokles napětí zdroje neuvažujte.

Zadáno:  $l = 10 \text{ m}$ ,  $S = 1,5 \text{ mm}^2$ ,  $U = 230 \text{ V}$ ,  $\rho = 0,0169 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ .

Počítáme:  $I = ?$   $P = ?$

Situaci zkratu překreslíme do tradičního schématu, viz 4.16. Jde o jednoduchý obvod tvořený dvěma sériově řazenými rezistory  $R_0$  a střídavým zdrojem s efektivní hodnotou napětí  $U = 230 \text{ V}$ .



Obrázek 4.16: Situace při zkratu

Výsledný odpor v obvodu:

$$R = R_0 + R_0 = 2R_0.$$

Odpor vodiče v kabelu lze určit pomocí vztahu:  $R_0 = \rho \frac{l}{S}$ .

Dosazením uvedeného do Ohmova zákona pro proud získáme:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{2R_0} = \frac{US}{2\rho l} = \frac{230 \text{ V} \cdot 1,5 \text{ mm}^2}{2 \cdot 0,0169 \Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1} \cdot 20 \text{ m}} \approx 500 \text{ A}.$$

Okamžitý tepelný výkon uvolňovaný podél smyčky během zkratu je:

$$P = UI = 230 \text{ V} \cdot 500 \text{ A} \approx 100 \text{ kW}.$$

Proud a následně i uvolňovaný výkon bude omezen nárůstem odporu, způsobeným vzrůstem teploty.

★ ★ ★

**Shrnutí.** Ukroucení, zalomení, únava materiálu a nešetrné zacházení s kabely. To vše vede k poškození vzájemné izolace fázového a středního vodiče, což může v konečném stádiu znamenat jejich vodivé spojení. Je-li mezi vodiči napětí, pak si proud namísto cestování spotřebičem s větším odporem cestu „zkrátí“ poškozeným místem. Proto hovoříme o zkratu.

Elektrická přípojka je tvrdým zdrojem, který je schopen dodat poměrně vysoké proudy. Jestliže dojde ke zkratu, je uzavřen obvod, kde spotřebičem je pouze vodič smyčky příslušné vyzkratované části elektrické sítě. Odpor (resp. impedance) smyčky je ve srovnání se spotřebičem velmi malý, o čemž nás přesvědčuje dle norem<sup>15</sup> maximální přípustná hodnota odporu smyčky  $1,9 \Omega$  a odhadnutá hodnota odporu vlákna  $60 \text{ W}$  žárovky  $R = \frac{U^2}{P} = \frac{230^2}{60} \Omega \approx 900 \Omega$ .

Tvrdość zdroje a malý odpor smyčky znamenají značné uvolňované teplo, které může způsobit až vypuknutí požáru. Vzniku zkratu sice nezamezíme, ale když už k němu dojde, jsme schopni zajistit odpojení vadné části sítě. K tomu slouží v obvodu záměrně vytvořené zúžené místo<sup>16</sup>, které se v případě průchodu

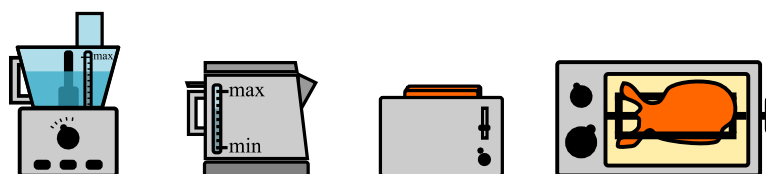
<sup>15</sup>Jde o maximální přípustnou hodnotu odporu (resp. impedance) smyčky v případě použití  $16 \text{ A}$  jističe (Kříž, 2016).

<sup>16</sup>Jakási možnost bezpečně provozovaného „požárku“, který přerušením vodivé cesty odpojí zdroj od vadné části sítě.



zkratového proudu zahřeje natolik, že se přepálí a příslušné odpojení tak realizuje. Jde o **pojistku**, která je v domovních rozvodech v současné době nahrazována jističi, které plní stejnou funkci s tím rozdílem, že je lze po odstranění poruchy opět „nahodit“. Ke zkratu na vedení může dojít po jeho celé délce. Z toho důvodu je strategické pojistku umístit na úplný začátek vedení, a to na fázový vodič. Pojistce a zejména jističi se budeme hlouběji věnovat později.

**Příklad 7.** Vedení zásuvkového okruhu v kuchyni je dimenzováno na maximální trvalý proud 16 A. V kuchyni jsou následující spotřebiče těchto příkonů: robot 1 200 W, varná konvice 2 400 W, toustovač 1 300 W a mikrovlnná trouba 1 000 W. Diskutujte situace, při kterých bude vedení vystaveno dlouhodobému nadproudu.



Obrázek 4.17: Spotřebiče v kuchyni

Zadáno:  $P_1 = 1\,200\text{ W}$ ,  $P_2 = 2\,400\text{ W}$ ,  $P_3 = 1\,300\text{ W}$ ,  $P_4 = 1\,000\text{ W}$ ,  $I_{\max} = 16\text{ A}$ .

Spotřebiče jsou zapojeny paralelně. Postačí tedy s maximálním proudem poměřovat součet „požadovaných“ proudů ve smyčkách zapnutých spotřebičů. Pokud budeme uvažovat, že spotřebiče pracují na plný výkon<sup>17</sup>, jsou odpovídající proudy užitím vztahu  $P = UI$  rovny:

$$I_1 = \frac{P_1}{U} = \frac{1\,200\text{ W}}{230\text{ V}} \doteq 5,2\text{ A}, \quad I_2 = \frac{P_2}{U} = \frac{2\,400\text{ W}}{230\text{ V}} \doteq 10,4\text{ A},$$

$$I_3 = \frac{P_3}{U} = \frac{1\,300\text{ W}}{230\text{ V}} \doteq 5,7\text{ A}, \quad I_4 = \frac{P_4}{U} = \frac{1\,000\text{ W}}{230\text{ V}} \doteq 4,3\text{ A}.$$

- Bude-li zapnut právě jeden ze spotřebičů, k přetížení vedení nedojde.  
( $I_i \leq I_{\max}$ ,  $i = 1, \dots, 4$ )
- V případě provozu dvou spotřebičů dojde k přetížení pouze při kombinaci varná konvice + toustovač.  
( $I_2 + I_3 > I_{\max}$ , jinak  $I_i + I_j \leq I_{\max}$ )
- Současný provoz tří spotřebičů znamená vždy přetížení, je-li jedním z nich varná konvice.  
( $I_2 + I_i > I_{\max}$ , jinak  $I_1 + I_3 + I_4 \leq I_{\max}$ )
- Příklad čtyř spotřebičů znamená nutně provoz varné konvice a tedy nevyhnutelně přetížení vedení.  
( $\sum_{i=1}^4 I_i > I_{\max}$ )

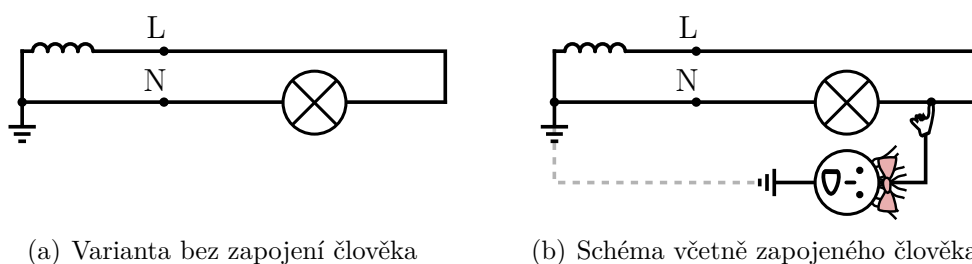
**Shrnutí.** Vidíme, že vedení lze současným provozem více příkonově náročnějších spotřebičů snadno přetížit. Bylo by možné se uklidňovat, že příslušné kombinace zapojení spotřebičů překračující povolený proud jsou málo pravděpodobné, či jsou krátce trvající. Obezřetnost je ale na místě, v kuchyni může být

<sup>17</sup>A navíc, že proud i napětí jsou ve fázi, tj. že jde o čistě odporovou zátěž.

celá řada dalších spotřebičů. Vedení je proto nutné před přetěžováním chránit, k čemuž slouží opět pojistka či jistič, zařazená na fázový vodič do příslušného okruhu v rozvaděči, která v případě přetížení obvod samočinně odpojí. Aby nedocházelo k nechtěným výpadkům, jsou typicky kuchyňské spotřebiče a zásuvky rozděleny do více okruhů se samostatným vedením. Ochrana jednotlivých okruhů však musí zůstat, nemůžeme tušit, že někdo pro příklad na jednu zásuvku nepřipojí přes roztrojku tři varné konvice.

**Příklad 8.** Překreslete situaci z obrázků 4.15(a), 4.15(b) do běžného schématu a na základě něj diskutujte, čím je určena velikost proudu tekoucí člověkem.

Překreslíme-li nejprve obvod bez člověka, získáme následující schéma 4.18(a) jednoduchého obvodu, s tím, že jeden z pólů zdroje je spojen se zemí.



Obrázek 4.18: Schéma dotyku živé nebo neživé části lampičky člověkem

Nyní do schématu dokreslíme člověka, který je v kontaktu s místem, na němž se vyskytuje nebezpečné napětí. Dotkne-li se člověk živé nebo neživé části před spotřebičem (z pohledu fázového vodiče), nabízí tím proudu další cestu k uzavření obvodu, a to bohužel kromě země i přes jeho tělo, jak je patrné z obrázku 4.18(b).

Série „člověka se zemí“ a spotřebič jsou tedy ke zdroji zapojeny paralelně. To znamená, že na sérii člověk a země, zanedbáme-li úbytek napětí na vedení, je plné napětí zdroje. Je-li odpor země (resp. její impedance<sup>18</sup>) malý (nebo téměř nulový – člověk se dotýká topení, vany aj.), je člověk připojen přímo na síťové napětí 230 V, tj. nebezpečnost situace je srovnatelná s dříve diskutovaným případem dvojpólového dotyku, viz strana 57.

Velikost proudu, který teče člověkem závisí na

- odporu země a kvalitě spojení vodiče N se zemí
- přechodovém odporu člověk a země (boty a suchá podlaha, bosky ve vlhku)
- odporu člověka (typ dotyku, vlhkost pokožky, velikost napětí<sup>19</sup>)

<sup>18</sup>Budeme užívat termínu odpor, ačkoli v obvodu se střídavým zdrojem jde o impedanci.

<sup>19</sup>V důsledku snížení izolačních vlastností kůže s rostoucím napětím klesá impedance lidského těla, viz (Meduna, 2016, str. 5).

Jestliže uvážíme nejstrašidelnější scénář, tj. nulový odpor země (např. stání v uzemněné vaně) a jakýsi průměrný<sup>20</sup> odpor člověka  $2\,000\ \Omega$ , teče tělem proud

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230\ \text{V}}{2\,000\ \Omega} = 115\ \text{mA}.$$

Takový proud, který tělem prochází déle než asi 0,8 s, vede podle tabulky 4.2 účinků střídavých proudů různé velikosti na lidský organismus k zástavě srdce<sup>21</sup>

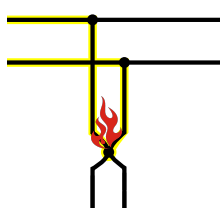
Tabulka 4.2: Účinky střídavého proudu na lidský organismus (Meduna, 2016).

| Hodnota proudu | účinek na lidský organismus                         |
|----------------|---|
| 0,5 až 1 mA    | práh vnímání el. proudu                             |
| 1 až 8 mA      | podráždění v nervech, stoupání krevního tlaku       |
| 6 až 15 mA     | způsobuje tetanickou křeč, člověk se nemůže uvolnit |
| 25 mA          | tetanická křeč dýchacího svalstva                   |
| 60 mA          | chvění srdeční komory, přechodná zástava srdce      |
| nad 80 mA      | zpravidla trvalá zástava srdce                      |

\* \* \*

Závěrem kapitoly o rizicích elektrické sítě shrňme diskutované rizikové situace:

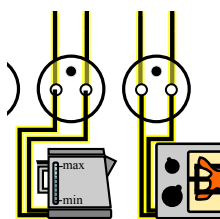
### Zkrat



Obrázek 4.19: Zkrat na vedení

Dojde-li k poškození kabelu na cestě ke spotřebiči, při kterém se vodivě spojí fázový a střední vodič, jde o **zkrat**. Elektrický obvod je v takovém případě tvořen pouze zdrojem (a to velmi tvrdým<sup>22</sup>) a spotřebičem, kterým je samotné vedení, které má ve srovnání s běžným spotřebičem velmi malý odpor. Vysoký proud pak znamená velké uvolňované teplo a riziko vzniku požáru, jestliže není zdroj neprodleně odpojen. Samočinné odpojení v praxi realizuje pojistka nebo jistič.

### Přetížení



Obrázek 4.20: Přetížení vedení

Méně povyku způsobí z počátku skrytá situace, kdy je vedení v pořádku, ale je dlouhodoběji příliš zatěžováno proudem, na který není vedení dimenzováno (typicky příliš malý průřez vodičů). Pak hovoříme o **přetížení**. V takové situaci celkový proud odebíraný spotřebiči překračuje stanovenou hodnotu a Jouleův výkon způsobuje nepovolené oteplení kabelů<sup>23</sup>. Ochrana před přetížením obstarává tatáž pojistka nebo jistič.

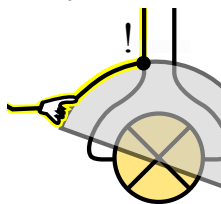
<sup>20</sup>Hodnota převzata z (Meduna, 2016, str. 3)

<sup>21</sup>Zmíněná doba souvisí s periodou srdeční činnosti. Trvá-li průchod proudu po dobu alespoň jedné periody, je srdce ohroženo ve fázi tzv. repolarizace komor, při které hrozí velké riziko poruchy srdečního rytmu (Meduna, 2016, str. 5).

<sup>22</sup>Dokáže trvale dodávat vysoké proudy, aniž výrazně klesne jeho svorkové napětí.

<sup>23</sup>Stejně tak kontakty v zásuvkách a vypínačích jsou dimenzovány na jistý maximální proud. Na prodlužovacích šňůrách je tato maximální hodnota často uvedena, např. 10 A.

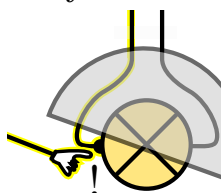
### Dotyk neživé části



Obrázek 4.21:  
Dotyk neživé části

Jestliže se vlivem poruchy vyskytne nebezpečné napětí na místě, kde být nemá, hrozí riziko **dotyku neživé části** s nebezpečným napětím. Příkladem může být prodření fázového vodiče a následný dotyk s kovovou skříňí pračky nebo vlivem poškození izolace dotyk fázového vodiče a kovového stínítka lampičky. Pojistka ani jistič v současném zapojení nepomůže, proud poruchovou smyčkou (přes člověka a zem) je příliš malý na vypnutí jisticího prvku. Bohužel je ale dostatečný k úrazu elektrickým proudem.

### Dotyk živé části



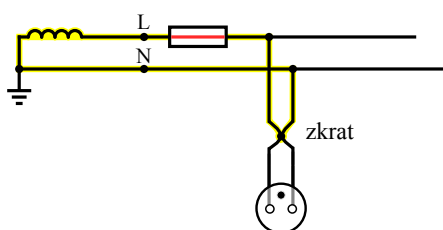
Obrázek 4.22:  
Dotyk živé části

V některých případech hrozí riziko dotyku části, na které musí být z principu nebezpečné napětí. K minimalizaci rizik nebezpečného **dotyku živé části** přispívají pasivní ochrany krytím, izolací, výstrahou, či polohou, nicméně po porušení těchto bariér tragickým účinkům proudu nic nebrání. Mezi tato nebezpečí budeme řadit také dvojpólový dotyk (např. zdířky v zásuvce) a jednopólový dotyk (dotyk fázového vodiče). Pojistka ani jistič, stejně jako v předchozím odstavci, v současném zapojení nepomohou.

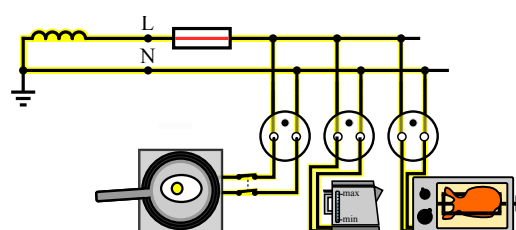
## 4.3 Budujeme ochranu sítě „od plenek“

Z předchozí kapitoly jsme se v sérii několika příkladů mnohemu naučili. Je nám zcela jasné, že připojovat spotřebiče přímo na „dráty“ z „uličního“ transformátoru není zcela vhodné, chceme-li zachovat majetek i zdraví uživatelů sítě.

Jedním ze zjištění bylo, že zařazením pojistky nebo jističe lze dlouhodobému přetížení vedení či zkratu zavčas zamezit. Přetěžované nebo zkratované vedení je samočinně odpojeno od zdroje dříve, než se stihne napáchat příslušná škoda.



(a) Zkrat těsně před přepálením pojistky



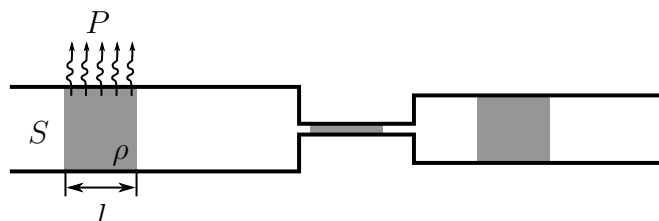
(b) Přetížení těsně před přepálením pojistky

Obrázek 4.23: Vřazení pojistky nebo jističe do cesty fázového vodiče

Sít na obrázku 4.23, která již obsahuje pojistku a historicky odpovídá počátkům ochrany elektrických sítí, je chráněna jednak před vznikem zkratu – pojistka se průchodem velkého zkratového proudu okamžitě přepálí, jednak před přetížením – dlouhodobý nadproud později rovněž způsobí přetavení drátku pojistky.

**Příklad 9.** Ukažte, proč se obvod přeruší právě ve zúženém místě, tedy v pojistce.

Vedení se přetaví zřejmě v místě, ve kterém se uvolňuje na jednotku délky největší Joulov výkon. Poměřovat tedy budeme Joulov výkon vztahený na jednotku délky, tj. něco, co bychom mohli nazvat délkovou hustotou Joulova výkonu.



Obrázek 4.24: Joulov výkon částí vodiče proměnného průřezu

Jestliže v důsledku proudu  $I$  část vodiče stálého průřezu  $S$  a délky  $l$  vyzařuje Joulov výkon  $P$ , viz obr. 4.24, je délková hustota Joulova výkonu  $\mathcal{P}$  rovna

$$\mathcal{P} = \frac{P}{l} = \frac{RI^2}{l} = \frac{\rho \frac{l}{S} I^2}{l} = \frac{\rho I^2}{S}.$$

Množství uvolněné energie na jednotkovém úseku za jednotku času je úměrné přirozeně rezistivitě materiálu a procházejícímu proudu (a to v druhé mocnině). Kromě toho závisí nepřímo úměrně na průřezu vodiče. Tedy vsutku – v místech, kde má vedení menší průřez, se na zvolené délce uvolňuje více tepla.

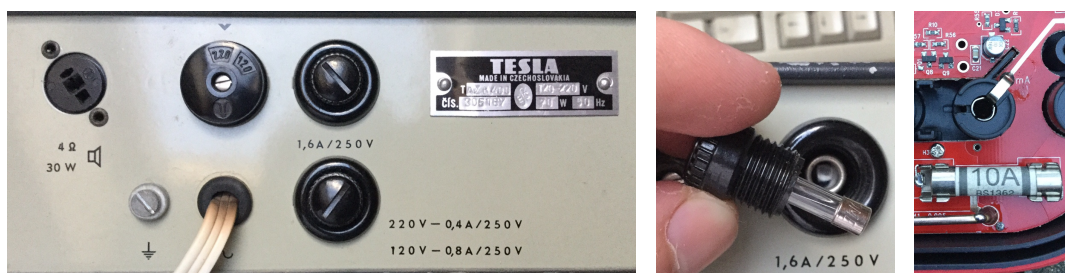
Tento efekt umocňuje skutečnost, že ve zúženém místě přijímá vyvíjené Joulovo teplo méně materiálu, což má za následek ve srovnání s okolím větší zvýšení teploty, jak lze podložit vztahem  $Q = mc\Delta t$ . Situace před dosažením rovnovážného stavu s konstantní teplotou, kdy je v rovnováze vznikající Joulov výkon s tokem odváděné energie<sup>24</sup>, je o to komplikovanější tím, že rezistivita  $\rho$  vodiče roste s jeho teplotou. Na rezistivitě ale zpětně závisí proud tekoucí vodičem.

Pojistka obsahuje tenký drátek, jehož tloušťka a materiál jsou voleny tak, aby se při překročení stanoveného proudu uvolňovaným teplem okamžitě přetavil. Podrobněji o pojistkách i jističích později. Předznamenejme, že jistič k detekci nadproudu a k rozpojení obvodu využívá jiných fyzikálních principů.

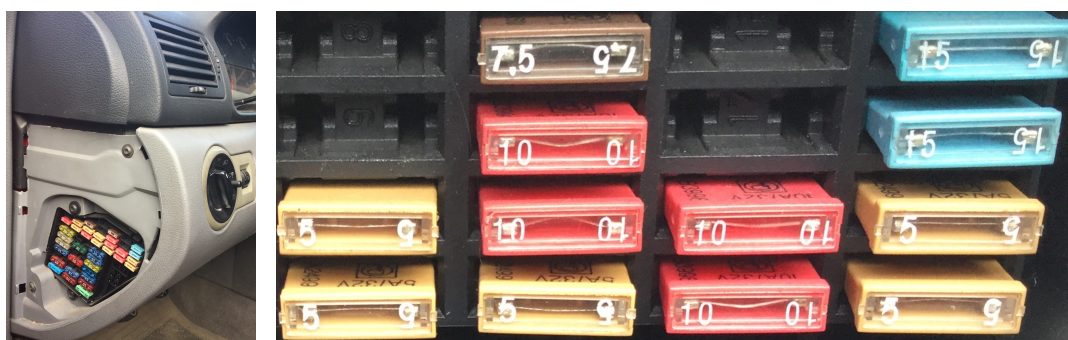
Kromě praktického užití v pojistkách se popisovaný jev negativně hlásí o slovo v místech elektrické sítě, kde se vyskytuje lokální zmenšení průřezu vodiče protékajícího proudem. Hovoříme pak o *přechodových odporech*, jejichž výskyt je vázán na kontakty v zásuvkách, svorkovnicích a na ukroucené, naseknuté nebo jinak „načaté“ vodiče a kabely. Výsledné oteplení přilehlých částí je po určité době provozu citelné<sup>25</sup>. Na množství vyvíjeného tepla na takových kontaktech má vliv i jejich kondice – ochabnutí pružnosti jejich doléhání a oxidace styčných povrchů situaci navíc dále zhoršuje. Způsobí-li vysoká teplota roztavení okolních ochranných plastů, je takové místo potenciálním rizikem ke vzniku požáru nebo úrazu elektrickým proudem.

<sup>24</sup>O velikosti zvýšení teploty v důsledku procházejícího proudu – o tzv. *oteplení vodiče*, rozhoduje tepelný odpor mezi vodičem a okolím. Jeho velikost se odvíjí především o způsobu uložení vodiče (v trubce, na stěně, na vzduchu, v zemi) a provedení izolace (Hejtmánková, 2016).

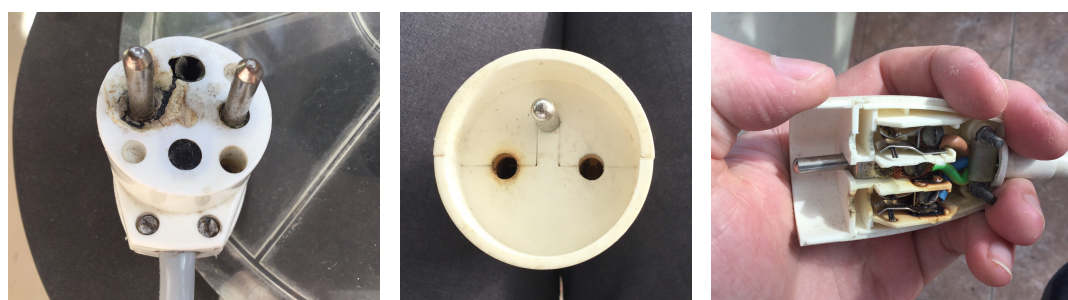
<sup>25</sup>V domácnosti jsou časté případy, kdy je zásuvka i zástrčka se zoxidovanými kontakty po použití výkonného spotřebiče, např. horkovzdušné trouby, prokazatelně horká.



(a) Pojistková pouzdra na zadní straně zesilovače (b) Detail pojistky (c) Multimetr



(d) Pojistková skříň (e) Detail pojistek osobního automobilu Škoda Octavia



(f) Vidlice ždímačky (g) Zásuvka přívodu (h) Detail zevnitř

Obrázek 4.25: Efekty zahřívání vodiče protékaného proudem v běžné praxi

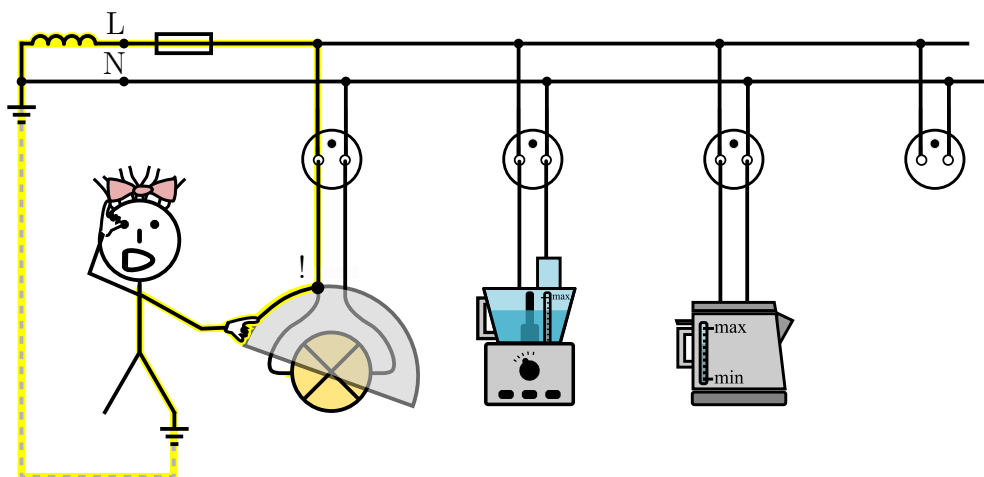
Na obrázcích 4.25(a) a 4.25(b) jsou zobrazeny přístrojové pojistky v pojistkových pouzdrech na zadní straně audio zesilovače. Obrázek 4.25(c) ukazuje pohled na desku plošných spojů běžného multimetru, konkrétně na trubičkovou pojistku 10 A. Obrázky 4.25(d) a 4.25(e) zachycují pojistky v osobním automobilu, snímky 4.25(f), 4.25(g) a 4.25(h) pak neblahé efekty vyvíjeného tepla na přechodových odporech.

Vraťme se ale zpět. Nyní máme síť chráněnou před zkratem a přetížením pojistkou zařazenou do cesty fázového vodiče. V rozvaděčích běžných budov se již jednorázové pojistky téměř nevyskytují, jsou nahrazeny<sup>26</sup> znovu „nahoditelnými“ jističi. Protože je „pracovní povinnost“ pojistky i jističe v obvodu stejná – odpojit obvod při přetížení a zkratu, dovolíme si v následujících obrázcích používat pro oba ochranné prvky stejnou schematickou značku.

<sup>26</sup>Bylo by však chybné říci, že byly pojistky zcela nahrazeny jističi. Pojistky se používají např. jako předřadné jištění v hlavních přípojkách (nožové pojistky) nebo v lampách pouličního osvětlení (keramická pojistka). Pojistkami mohou být chráněny i jednotlivé přístroje v domácnosti, měřicí přístroje nebo okruhy spotřebičů v automobilech.

### 4.3.1 Síť TT a TN-C

Pokročíme ve vylepšování ochran elektrické sítě. Zatím jsme dospěli k síti, ve které jsou pracovními vodiči fázový (L) a střední (N) vodič. Jako ochranný prvek je použita pojistka (jistič), která samočinně zdroj v případě zkratu nebo přetížení odpojí. Příklad takové sítě máme na obrázku 4.26.



Obrázek 4.26: Dvouvodičová elektrická síť chráněná pojistkou, resp. jističem

Ale, co se to stalo! Fázový vodič u lampičky se prodřel a nebezpečné napětí se dostalo na neživou část – kovové stínítko. Člověk, který se stínítka dotýká, je přímým aktérem situace rozebírané v příkladu na straně 62. Prochází jím nebezpečný poruchový proud, který ale není dostatečně velký k přepálení pojistky či vybavení jističe.

Naše síť je tedy chráněna před zkratem i přetížením. Spokojíme-li se s pasivní ochranou izolací, krytím, polohou, je rovněž chráněna před nebezpečným dotykem živé části. Není však zamezeno nebezpečným dotykům neživých částí, stejně jako jednopólovému<sup>27</sup> i dvoupólovému dotyku.

#### Ochrany: Síť s pojistkou nebo s jističem (obr. 4.26)

Zkrat  Přetížení  Živé části  Neživé části

Jednopólový dotyk  Dvoupólový dotyk

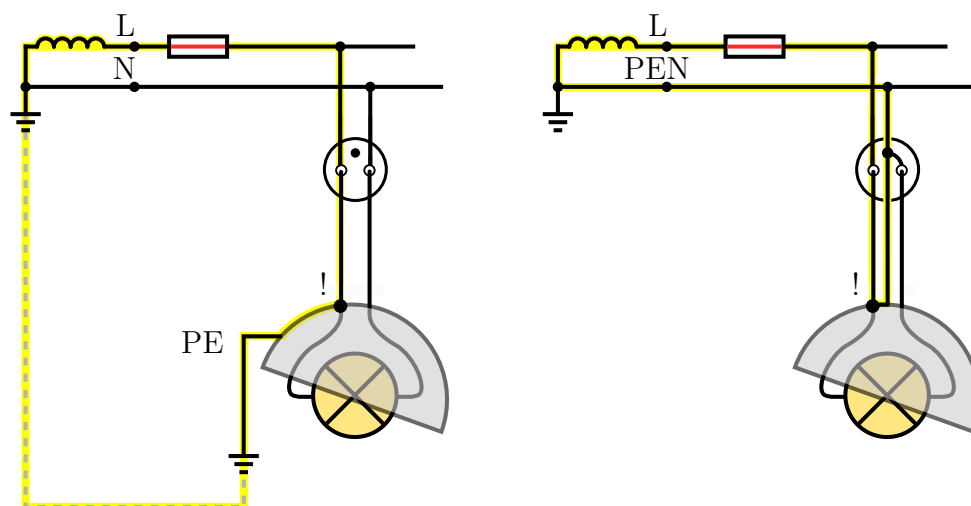
Legenda k přehledu ochran: *zkrat* – jakmile začne protékat zkratový proud, obvod je samočinně odpojen od zdroje; *přetížení* – je-li dlouhodoběji vedení zatěžováno nadproudem, obvod je opět samočinně odpojen od zdroje; *živá část* – fyzickým způsobem je zamezeno dotyku s částmi, které jsou běžně pod napětím; *neživá část* – jestliže se část, která má být bezpečná, stala vlivem poruchy částí živou, je porouchaný spotřebič samočinně odpojen od zdroje; *jednopólový dotyk* –

<sup>27</sup>Například poškodí-li se izolace živé části a ta se tak stane dostupnou. Další situací může být zastrčení hřebíku do levé zdířky v zásuvce.

teče-li člověkem proud vlivem dotyku části s napětím, je obvod neprodleně samočinně odpojen od zdroje; dvoupolový dotyk – člověk vytvoří most mezi fázovým a středním vodičem, tj. zapojí se namísto spotřebiče.

Jak docílit toho, aby byl zdroj automaticky odpojen, a to hned jak se nebezpečné napětí na neživé části vyskytne? Pokud zajistíme, aby velikost poruchového proudu dosáhla velikosti zkratového proudu, mohla by obvod přerušit pojistka!

Při pohledu na obrázek 4.26 nás může napadnout použít k propojení stínítka se zemí namísto člověka nějaký „neživočišný“ vodič. Standardní vodič bude mít oproti lidskému tělu velmi malý odpor a bude-li současně zajištěno dobré zemní spojení s uzlem zdroje, dosáhne poruchový proud kýžené velikosti zkratového proudu. Takový vodič se používá a říkáme mu *ochranný vodič PE* (protective earthing). Jsou-li v síti neživé části spotřebičů chráněny spojením se zemí samostatnými ochrannými vodiči PE a je-li zajištěno dobré zemní spojení s uzemněným uzlem zdroje, jde o **síť TT**, viz obrázek 4.27(a).



(a) Síť TT: uzemnění neživých částí samostatným ochranným vodičem

(b) Síť TN-C: Užití středního vodiče k propojení neživých částí s uzlem zdroje

Obrázek 4.27: Nebezpečné napětí na neživé části v síti s ochranným vodičem znamená zkrat následovaný přerušením obvodu pojistkou nebo jističem

Se sítí TT se běžně nesetkáváme. Lze ji nalézt například v průmyslových provozech, kde jsou stabilně umístěny stroje a jejich neživé části jsou zemnič pospojovány s hlavní zemnicí lištou. Pro použití v „užitkových“ budovách by bylo šikovné mít ochranný vodič PE součástí přípojné šňůry přístroje, aby bylo možné přístroj jednoduše odpojit a přemístit.

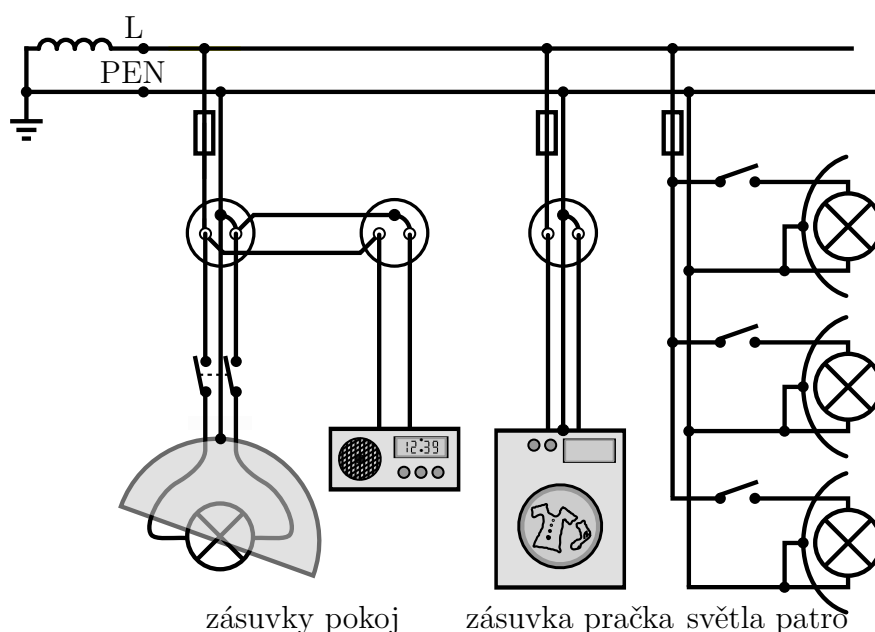
Ochranný vodič PE, jako jeden ze tří vodičů přívodní šňůry spotřebiče, proto přivedeme do zásuvky na třetí kontakt – onen ochranný kolík. Ten bychom potřebovali, stejně jako v případě sítě TT, spojit s uzlem zdroje, aby v případě poruchy obvodem protékal zkratový proud, který přepálí pojistku. Ale do uzlu zdroje již ze zásuvky vede střední vodič N – takže stačí ochranný kolík v zásuvce spojit s pravou dutinkou<sup>28</sup> a je hotovo, viz obrázek 4.27(b)!

<sup>28</sup>Jak je naznačeno v obrázku 4.27(b), střední vodič se nejprve přivede na ochranný kolík a až následně na pravou dutinku. Je to kvůli minimalizaci počtu spojů na cestě ochranného vodiče.



Je-li pro cestu ochranného vodiče PE k uzemněnému uzlu zdroje použito středního vodiče N, jde o **síť TN-C**. Jelikož střední vodič N kromě své pracovní funkce (teče jím běžný proud napájející spotřebiče) zastává současně funkci ochranného vodiče PE (v případě poruchy jím teče poruchový proud), hovoříme o vodiči PEN.

Dospěli jsme k síti TN-C, která se v ČR instalovala ještě ke konci 20. století a v současné době stále přetrvává v celé řadě nerekonstruovaných bytových i domovních rozvodech. Příklad části takové sítě je na obrázku 4.28. Oproti původním sítím, kdy hlavní vodorovné linie představovaly reálný rozvod vodičů pod stropem místností, z nichž se odbočkami realizovalo připojení jednotlivých zásuvek a spotřebičů, zde již tyto linie značí hlavní svorkovnice v rozvaděči, ze kterých vedou kabely pro jednotlivé, zvláště pojistkou nebo jističem chráněné, světelné a zásuvkové okruhy.

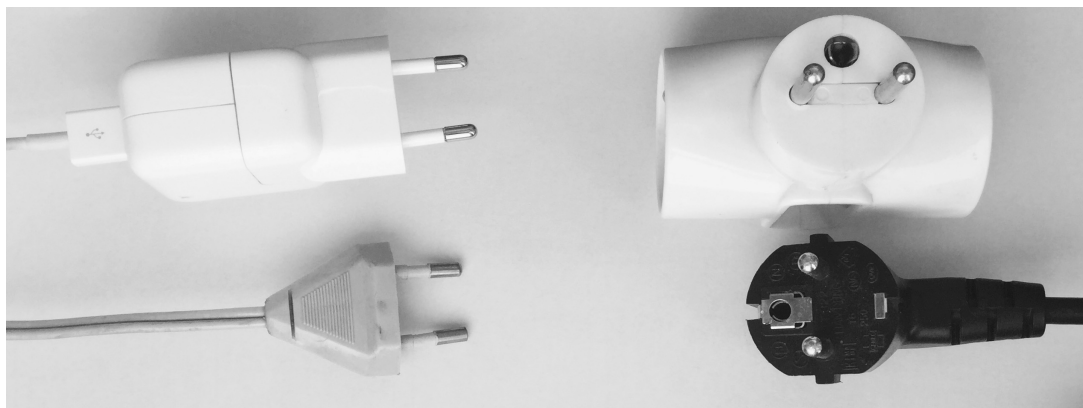


Obrázek 4.28: Schéma části TN-C sítě domácnosti se třemi chráněnými okruhy

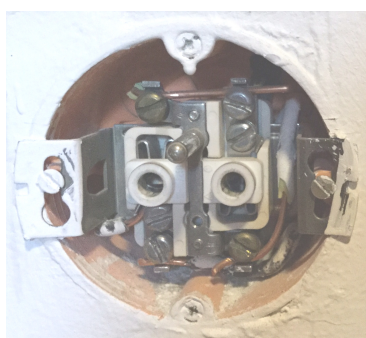
Všimněme si zapojení spotřebičů v pokoji. Zatímco lampička je připojena trojvodičovým kabelem, radiobudík je s vedlejší zásuvkou spojen pouze pomocí dvou vodičů, na ochranný kolík není zapojeno nic. To ale známe z vlastních zkušeností. Vidlice některých spotřebičů jsou pouze dvoupólové (nabíječka, fén, mixer), takovým vidlicím chybí kontakt k připojení na ochranný kolík.

Příklady vidlic jsou na obrázku 4.29. V levé části vidíme dvoupólovou vidlici nabíječky, která nemá žádné volně přístupné živé části, její důkladně provedená tzv. *dvojité izolace* vylučuje nebezpečný dotyk, není-li výrazně poškozena. U šedé vidlice používané v minulosti je dobře patrné, že přívodní šňůra je pouze dvouvodičová. Vpravo vidíme černou trojpólovou vidlici standardního napájecího kabelu, nad ní je pak roztrojka<sup>29</sup>, která musí mít nutně trojpólovou vidlici, nabízí-li zásuvky k připojení trojpólových vidlic.

<sup>29</sup>Poznamenejme, že starší typy těchto roztrojek (bakelitové) mají u jedné zásuvky „z povahy konstrukce“ prohozenou fázi a střední vodič. Ověření tohoto faktu „vypínáním“ pomocí multimetru může být zajímavou aktivitou.



Obrázek 4.29: Typy vidlic: vlevo dvoupólové, vpravo s ochranným kontaktem



Obrázek 4.30: Zapojení zásuvky v síti TN-C. Z ní vedou vodiče k další zásuvce.

je příslušný obvod pojistkou či jističem okamžitě přerušen. Odborně se hovoří o tzv. *ochraně samočinným odpojením od zdroje*.

Jak poznat, že v daném objektu je elektrická síť právě typu TN-C? Hlavní indicií vedoucí k podezření na síť TN-C je právě zapojení elektrické zásuvky, do které (je-li samostatná) vedou pouze dva vodiče (L a PEN), z nichž PEN vodič je kromě jedné z dutinek přiveden i na ochranný kolík. Na obrázku 4.30 je patrné propojení ochranného kolíku a pravé dutinky vodičem PEN.

Rekapitulujme, co nového naše „vylepšování“ sítě přineslo. Spojením neživých kovových částí spotřebičů se středem zdroje jsme zajistili ochranu před nebezpečným dotykem neživých částí při poruše. V případě výskytu napětí na takových částech

#### Ochrany: Síť TT nebo TN-C (obr. 4.28)

Zkrat  Přetížení  Živé části  Neživé části   
 Jednopolový dotyk  Dvoupólový dotyk

Situace se jeví jako příznivá. Otázkou je, zda je takto provedená ochrana dostatečně spolehlivá, eventuálně co se stane, když je její funkce poruchou ohrožena. Uvidíme, že porušením cesty ochranného vodiče se stane síť nebezpečnější, než kdyby tato ochrana nebyla vůbec instalována.

Závěrem poznamenejme, že v souvislosti se sítěmi TN-C se pro vodič PEN v tomto zapojení vžil název „nulák“ resp. „nulovací“ vodič. Ještě dnes zaslech-neme, že „v pravé zdírce je nulák“. V moderních sítích, jak přirozeně vyplyne později, však musíme být s užíváním těchto termínů opatrnější.

### 4.3.2 Problémy sítě TN-C

Nyní se budeme zabývat nepříjemnými vlastnostmi sítě TN-C, které vedly k tomu, že se s nimi dnes v koncových elektrických sítích budov téměř nesetkáme.

To, co vedlo k problémům, byly následující dvě vzájemně provázané skutečnosti, jedna řekněme historicko-ekonomická, druhá principiální (Kříž, 2017).

1. **Použití hliníku.** Levnou alternativou k mědi, jakožto elektrorozvodnému kovu, zdál se býti v minulém století hliník. Má sice víc než o třetinu menší měrnou vodivost, ale je až 4 krát levnější! Domovní instalace se proto realizovaly převážně hliníkovými kabely. Hliník má však ve srovnání s mědí menší pevnost a větší teplotní roztažnost. Je-li tedy utažen ve svorce a nepravidelně zahříván průchodem proudu, dojde vlivem tlakových sil, způsobených objemovou teplotní roztažností proti utažené svorce, k překročení meze pevnosti a následnému „tečení“ pod svorkou. Výsledkem je špatný kontakt<sup>30</sup> až úplné „odpadnutí“ vodiče.
2. **Kombinovaná funkce PEN.** Projevy popsaných nepříjemných vlastností hliníku jsou umocněny následující principiální skutečností sítě TN-C. Vodič PEN, který má v případě poruchy plnit ochrannou funkci, je za normálních okolností běžným pracovním vodičem, tj. tečou jím běžné pracovní proudy, nadproudy i zkratové proudy, které ono „odpadávání“ vodičů způsobují. Případné přerušení cesty ochranného obvodu je tak ve zvýšené míře zapříčiněno i kombinováním funkce ochranného vodiče s funkcí pracovní.

**Příklad 10.** *Chceme nahradit stávající hliníkové vedení měděnými vodiči. Jaký průřez nového vedení zvolit?*

Uvažujme, že vedení má délku  $l$ , původní průřez vodičů je  $S$ . Hledaný průřez vodičů nového vedení označme  $S'$ . V tabulkách nalezneme měrné elektrické odpory hliníku  $\rho = 0,0267 \mu\Omega \cdot \text{m}$  a mědi  $\rho' = 0,0169 \mu\Omega \cdot \text{m}$ .

Nové vedení musí mít odpor nejvýše rovný odporu původního vedení, tj.

$$R' \leq R,$$

$$\rho' \frac{l}{S'} \leq \rho \frac{l}{S}.$$

Odtud snadno pro požadovaný průřez měděného vedení

$$S' \geq \frac{\rho'}{\rho} S = \frac{0,0169 \mu\Omega \cdot \text{m}}{0,0267 \mu\Omega \cdot \text{m}} S \doteq 0,63 \cdot S.$$

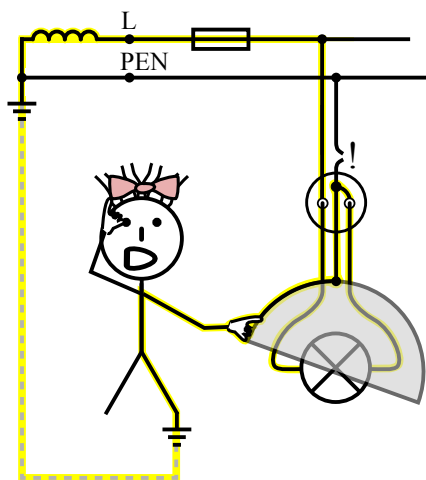
Ekvivalentní měděné vedení má tedy 63% průřez. Bylo-li tedy původní hliníkové vedení realizováno například vodičem s průřezem  $1,5 \text{ mm}^2$ , v mědi postačí vodič s průřezem přibližně  $1 \text{ mm}^2$ .

Vzhledem k tomu, že se pro pevné uložení typicky vyrábí kabely s vodiči od průřezu  $1,5 \text{ mm}^2$  výše (tzv. CYKY kabel<sup>31</sup>), sáhneme proto při výměně nejspíše po stejně „tlustých“ vodičích. Odměnou nám bude menší úbytek napětí na vedení a rovněž nižší impedance smyčky.

<sup>30</sup>K udržování hliníkové instalace v dobrém funkčním stavu bylo nutné pravidelně dotahovat a kontrolovat vodiče ve svorkách zásuvek a vypínačů. Hliníková instalace byla „živoucí“ bytostí, na svůj stav upozorňovala tajemným jiskřením v zásuvkách.

<sup>31</sup>Nahlédneme-li do produktového katalogu silových kabelů některého z výrobců (Schrack, 2017), zjistíme, že kabely ve variantě pro pevné uložení jsou vyráběny s průřezy od  $1,5 \text{ mm}^2$  do  $240 \text{ mm}^2$ . Písmena v označení CYKY znamenají: C – měděné jádro, Y – PVC izolace a K – určeno pro pevné uložení (Bešta, 2017).

Než nastíníme řešení „hliníkových“ problémů, představíme slibované nepříjemnosti, které jsou sítím TN-C vlastní.

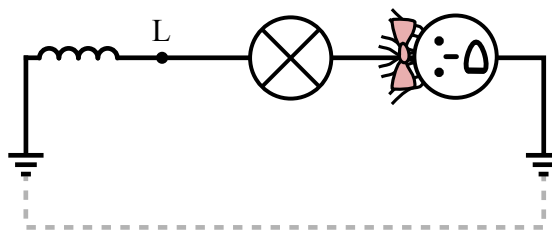


Obrázek 4.31: Přerušený vodič PEN

Ochrana teď škodí, vždyť právě spojení stínítka s ochranným kolíkem způsobuje výskyt napětí na něm!

**Příklad 11.** Nakreslete schema obvodu, který reprezentuje situaci, kdy se člověk dotýká stínítka lampičky, která je zapojena do zásuvky s „odpadlým“ vodičem PEN. Jsou žárovka a člověk zapojeny sériově nebo paralelně? Odhadněte odpory prvků a určete, jak se mezi ně rozdělí síťové napětí 230 V.

Budeme-li stopovat cestu proudu od uzemněného uzlu zdroje, viz obrázek 4.31, potkáme nejprve žárovku, dále se dostaneme přes pravou dutinku a ochranný kolík na stínítko, z něj pak přes člověka a zem opět do uzlu zdroje. Prvky jsou zapojeny sériově, viz obrázek 4.32.



Obrázek 4.32: Dotyk spotřebiče zapojeného v zásuvce s přerušeným PEN vodičem

Velikost proudu, který teče žárovkou i člověkem, je určena napětím zdroje 230 V a odporem jejich sériového spojení. Přihlédneme-li k relativně velkému odporu člověka, proud zřejmě nebude dostatečný k tomu, aby žárovka svítila. Budeme tedy počítat s odporem vlákna žárovky za studena – odhadněme  $100 \Omega$ <sup>32</sup>, hodnotu odporu člověka vezměme  $2000 \Omega$  z (Meduna, 2016, str. 3).

Při sériovém spojení rezistorů se na ně napětí rozdělí v poměru jejich odporů:

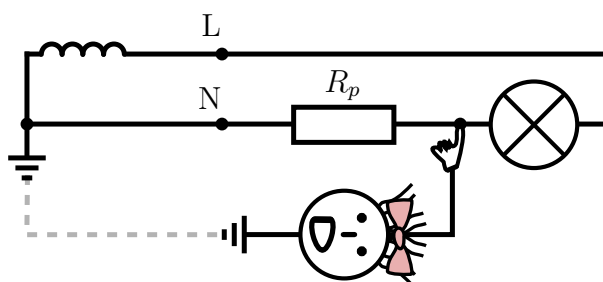
$$U_z = \frac{100}{100 + 2000} \cdot 230 \text{ V} \doteq 11 \text{ V}, \quad U_{\check{c}} = \frac{2000}{100 + 2000} \cdot 230 \text{ V} \doteq 219 \text{ V}.$$

Na člověku je tedy v popsané situaci téměř plné napětí zdroje.

<sup>32</sup>Pro 40 W žárovku na 230 V je odpor vlákna při pokojové teplotě přibližně  $90 \Omega$ . I malý proud však vlákno zahřeje, tj. odpor vlákna bude o něco vyšší.

**Příklad 12.** Pro předchozí případ diskutujte přechodnou situaci, kdy vodič PEN není přerušen zcela – „roztečení“ hliníkové vodiče pod šroubkem způsobilo „pouze“ zhoršení kontaktu v podobě velkého přechodového odporu.

Situace je podobná jako v předchozím případě, s tím, že po průchodu žárovkou musíme kreslit dvě větve. Jednu se člověkem a zemí, druhou s vodičem PEN, který je porušený, což budeme ve schematu reprezentovat rezistorem  $R_p$  představujícím tento přechodový odpor.



Obrázek 4.33: Dotyk spotřebiče zapojeného v zásuvce s částečně přerušným PEN vodičem

Pokud by byl přechodový odpor  $R_p$  „upadávacího“ PEN vodiče srovnatelný s odporem větve s člověkem, rozdělí se proud mezi obě větve rovným dílem. V obecném případě se proud rozdělí v opačném poměru vzhledem k odporům větví. Může se stát, že přechodový odpor nebude příliš velký, aby razantně omezil proud obvodem – žárovka bude svítit, ale současně odpor bude dostatečně velký, aby větví s člověkem tekla nebezpečně velký proud. Tato situace není v praxi neobvyklá – spotřebič funguje, ale při dotyku tzv. „kope“<sup>33</sup>.

Obrázek 4.33 je nesmírně poučný, neboť zahrne všechny již diskutované případy. Striktně matematicky můžeme rozlišit následující případy:

- $R_p = 0$  cesta PEN vodiče v pořádku,
- $0 < R_p < \infty$  přechodový odpor v cestě PEN vodiče,
- $R_p = \infty$  zcela „odpadnutý“ PEN vodič.

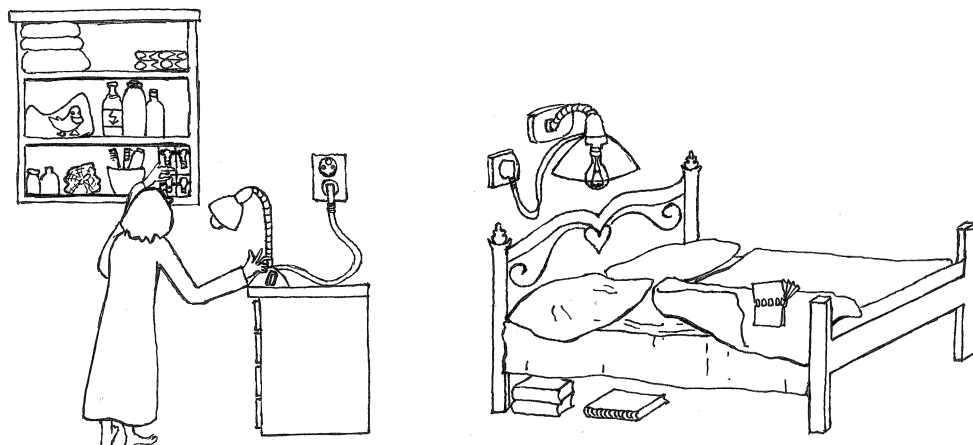
↔ Případ  $R_p = 0$  odpovídá síti, ve které je PEN vodič v pořádku. Při dotyku se proud rozdělí v opačném poměru vzhledem k odporům větví. Odpor větve vodiče PEN je vzhledem k odporu člověka zanedbatelný, takže i proud člověkem je vzhledem k proudu tekoucím pracovním vodičem PEN zanedbatelně malý.

↔ Případ  $0 < R_p < \infty$  popisuje situaci, kdy je vodivost cesty PEN vodiče snížena přechodovým odporem, např. u šroubového kontaktu v zásuvce. S časem typicky přechodový odpor  $R_p$  roste, může dojít až k úplnému odpadnutí vodiče.

↔ Případ  $R_p = \infty$  nekonečného odporu reprezentuje situaci úplného odpadnutí PEN vodiče, tj. větev PEN vodiče „není“ přítomna a proud protéká pouze sérií žárovky a člověka. Tento případ jsme diskutovali v předchozím příkladě.

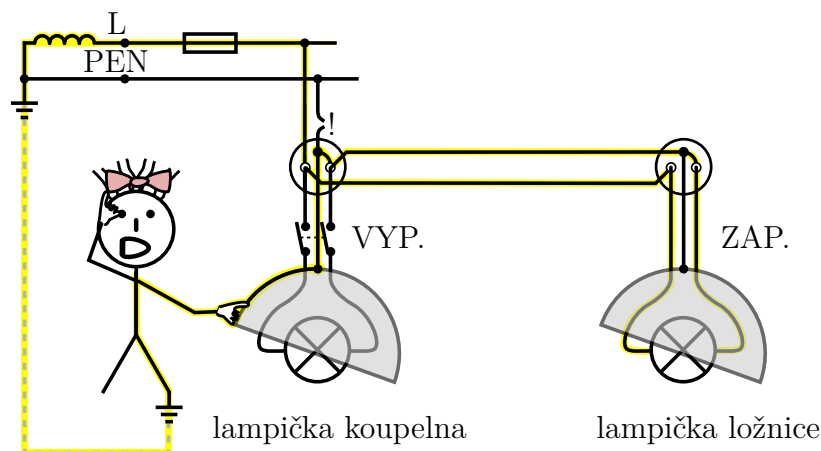
<sup>33</sup>Vada samozřejmě nemusí být vždy pouze na straně zásuvky, zdroj problému může být ukryt i v přívodní šňůře spotřebiče nebo v jejím vlastním napojení uvnitř přístroje.

**Zbytečně nebezpečná výměna žárovky.** Paní Štastná si chtěla na dobrou noc prohlédnout fotky svých vnučátek, a tak si lehla do postele a zapojila lampičku do zásuvky. Žárovka však ani ťuk – namísto rozjasněných tvářiček vnučky Světlanky a vnuka Stiborka pustopustá tma. „To zas starýmu ruplo, jak tu včera luštil sudoku, a nebyl schopnej to vyměnit,“ rezignovaně si posteskla. „Však já si na něj posvítím,“ vystartovala do koupelny ke skřínce s rezervními žárovkami. „Kde jen jsou,“ mumlá si pod vousy a zatímco jednou rukou po paměti prohledává policičku, druhou šátrá po vypínači kosmetické lampičky. Pak se ozve hbité zaškrbnutí, tlumený výkřik a Štastná leží v šoku na zemi.



**Příklad 13.** Pokuste se překreslit situaci u paní Štastné do schématu elektrické sítě a odhadněte, kde je pravděpodobně problém.

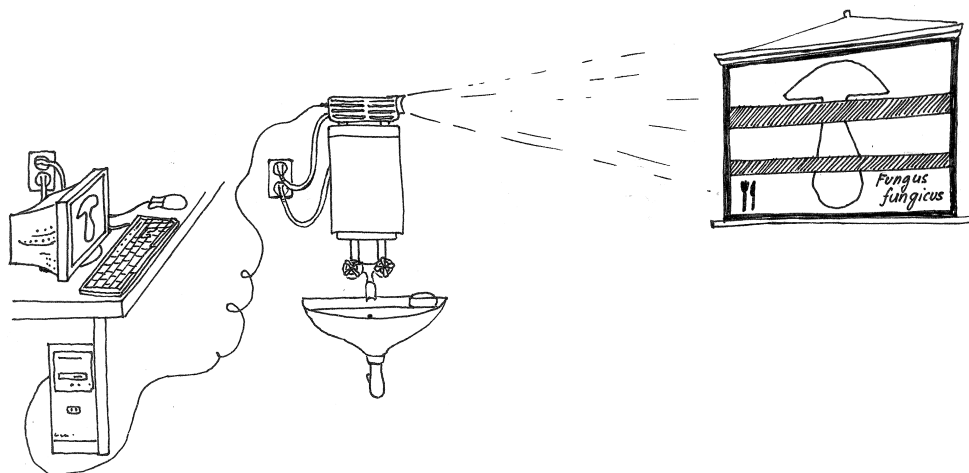
Při zapnutí lampičky v ložnici žárovka nesvítí. To ještě nutně neznamená, že je prasklá. Jsou-li zásuvky v koupelně a vedlejší ložnici tzv. „prosmýčkovány“<sup>34</sup>, viz obrázek, mohlo to být tím, že se obvod neměl kudy uzavřít, neboť v zásuvce v koupelně mohlo dojít k přerušení vodiče PEN. Obvod byl uzavřen až v okamžiku náhodného dotyku paní Štastné zemněného stínítka lampičky. Při tomto dotyku došlo k úrazu elektrickým proudem, a to i přesto, že lampička byla dvoupólově odpojena od sítě! Vlhké prostředí vydlážděné koupelny a bosé nohy paní Štastné vznik úrazu usnadnily.



Obrázek 4.34: Vznik úrazu elektrickým proudem při přerušení vodiče PEN

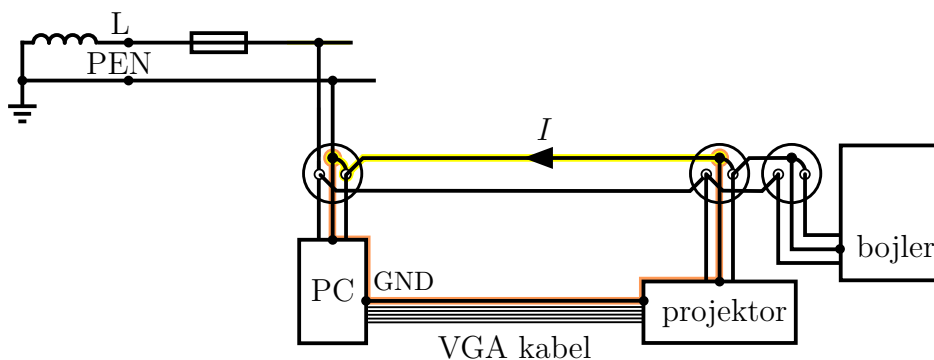
<sup>34</sup>Zásuvky nejsou k rozvaděči zapojeny samostatnými kabely, ale jsou paralelně zřetězeny.

**Hygienicky zkažená projekce.** Mykoložka Jahelková přijela na chaloupku dětem povyprávět o jedovatých a jedlých houbách českých lesů. Na USB disku si přivezla prezentaci, kterou zapojila do počítače na baru. Projektor, který si přivezla s sebou, umístila na bojler nad umyvadlem: „Paráda, takhle to svítí pěkně na protější stěnu.“ Počítač s projektorem propojila standardním VGA kabelem, projektor zapojila do zásuvky nad umyvadlem. Když přišly děti, hned v začátku prezentace jim prořízla lysohlávku, aby věděly jak vypadá na řezu. Pak si umyla ruce, aby si nezašpinila klávesnici, a přešla na další snímek. „Co se to děje s obrazem?“ vykřikla paní Jahelková, když se obraz na zdi rozsypal a začaly po něm běhat pruhy. „To von vám ten projektor asi sežral ty lysohlávky,“ uštěpačně poznamenává Jarda, který je na přírodovědném táboře z donucení.



**Příklad 14.** Překreslete situaci na přírodovědné chaloupce do schématu elektrické sítě a pokuste se analyzovat problém.

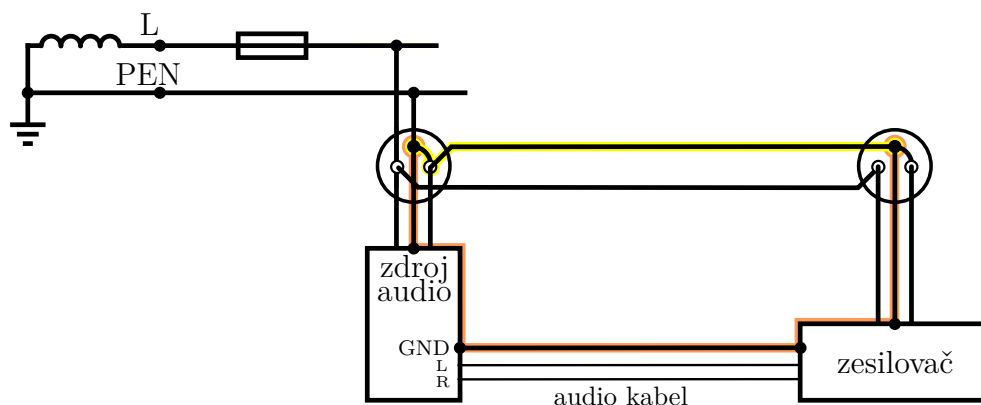
Problémy s obrazem následovaly po použití teplé vody z elektrického bojleru. Odběr vody zřejmě způsobil sepnutí ohřevu, tedy značné zvýšení proudového odběru v zásuvce u projektoru. Je-li celkový proud PEN vodičem  $I$  a je-li jeho odpor na úseku mezi ochrannými kolíky zásuvek pro PC a projektor  $R$  (žlutě podbarveno), je mezi ochrannými kolíky a tedy i mezi kovovými částmi PC a projektoru napětí  $U = RI$ . Vzhledem k tomu, že i GND vodič je spojen s kostrou přístrojů, teče po tomto vodiči prostřednictvím VGA kabelu proud (oranžově podbarveno). Jelikož pomocí napětí vůči GND vodiči se ostatními vodiči VGA kabelu přenáší obraz, dochází k narušení jeho správného přenosu.



Obrázek 4.35: Schéma vzniku rušení signálu obrazu pro projektor

Podobná situace nastává obecně v případech, kdy jsou kostry dvou spotřebičů propojeny nejen vodičem PEN prostřednictvím ochranných kolíků dvou zřetězených zásuvek, ale i dalším vodičem – vodičem signálové země v propojovacím kabelu.

Na místě PC v obrázku 4.35 může stát zdroj zvuku, na pozici projektoru zesilovač. Obě zařízení jsou tentokrát propojena stereofonním audio kabelem<sup>35</sup>, jak je vidět na následujícím obrázku 4.36. Proud síťové frekvence 50 Hz neteče pouze vodičem PEN, ale i signálovou zemí GND audio kabelu, čímž na sebe upozorní nechvalně známým nepříjemným „brumem“.



Obrázek 4.36: Zavlečení 50 Hz „brumu“ do audio signálu u zemněných přístrojů

První pomoc při řešení těchto problémů laikem:

- V ideálním případě zapojit všechny spotřebiče, které jsou následně propojovány signálovými kabely, do jedné zásuvky. Pokud jsou přívodní šňůry krátké, je možné použít prodlužovací šňůru, opět však zapojenou do téže zásuvky.<sup>36</sup>
- V každém případě je třeba zajistit, aby proud PEN vodičem mezi ochrannými kolíky inkriminovaných zásuvek byl minimální, tj. odpojit spotřebiče na zřetězených následujících zásuvkách, v případě obrázku 4.35 to je bojler. Opatření nemusí pomoci, vlastní spotřebič v koncové zásuvce jistý proud rovněž odebírá.

Často se problém se zavlečením síťového „brumu“ o své slovo hlásí v různých audio-video aplikacích. Kupříkladu na pódiu ozvučené kapely jsou jednotlivá nástrojová komba<sup>37</sup> i mixážní pult zapojeny k elektrické síti, přičemž jejich vidlice jsou obvykle třípólové, tj. spotřebiče jsou zapojeny na ochranné kolíky. Pokud zvukař „nabírá“ zvuk přímo z pomocného výstupu zesilovače komba, jsou komba i mixážní pult navíc spojeny signálovým kabelem, tj. může se stát, že se tímto způsobem do konečného mixu dostane nepříjemný „brum“ síťové frekvence, ale i další rušení, prostřednictvím vytvořené tzv. *zemní smyčky*.

<sup>35</sup>Například v podobě kabelu se dvěma vodiči pro signál levého a pravého kanálu a se společným stíněním, jako signálové země.

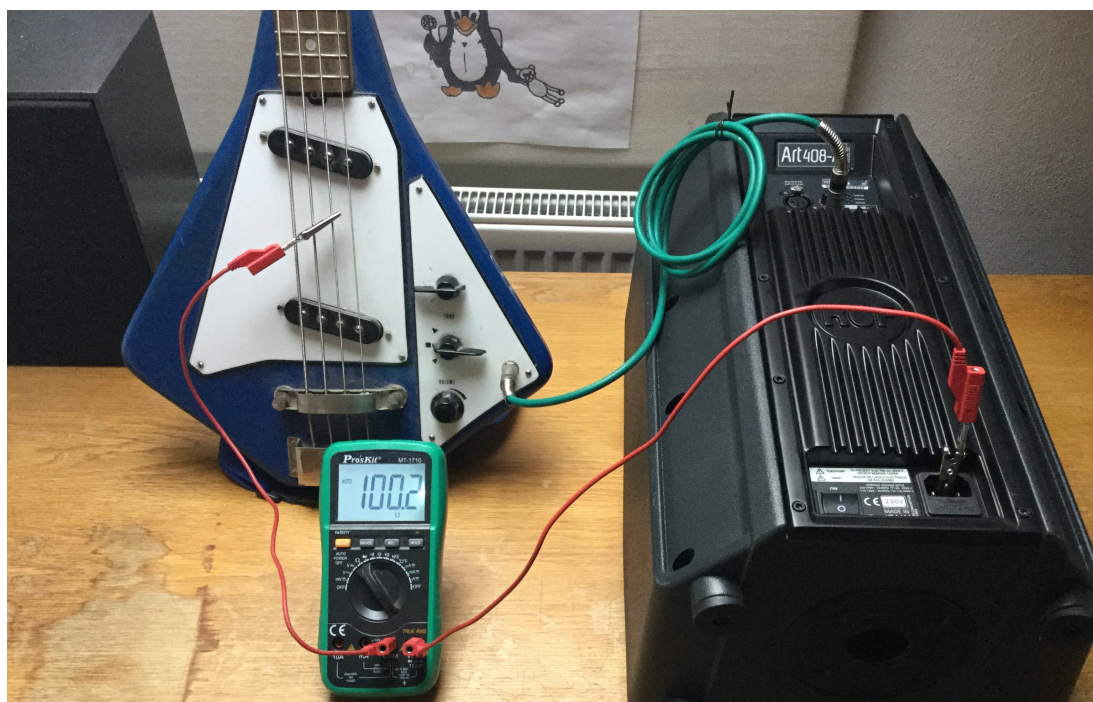
<sup>36</sup>Navíc je vhodné omezit souběh silového vedení se signálovými kabely.

<sup>37</sup>Reproduktor se zesilovačem přizpůsobený konkrétnímu nástroji, určený koncovému hráči. Zvukař má za úkol muzikantem zamýšlený zvuk z komba věrně sejmout a reprodukovat posluchačům v konečném mixu prostřednictvím hlavního zvukového systému reproboxů.



Mohlo by nás napadnout zemní smyčku přerušit odpojením ochranného vodiče v síťové šňůře spotřebiče, případně přímo v zásuvce prodlužovacího přívodu, jak doporučují „radílkové“ internetových diskuzí. To však nesmíme udělat nikdy a nesmíme ani připustit, aby tak učinil někdo jiný! Zde jde opravdu o život! Uvědomte si, že hráč na elektrickou kytaru je v přímém dotyku se strunami, které jsou spojeny se signálovou zemí prostřednictvím nástrojového kabelu a tedy i se zemí zesilovače.

Změřili jsme odpor mezi strunami a signálovou zemí (stínění kabelu) pro konkrétní basovou kytaru a aktivní reproduktor, s výsledkem  $0,2\ \Omega$ . Na obrázku 4.37 je pak zachyceno měření odporu mezi strunami a ochranným kontaktem napájecího konektoru s výsledkem  $100,2\ \Omega$ . Zem zesilovače je tedy zřejmě s uzemněním spotřebiče spojena přes  $100\ \Omega$  rezistor.



Obrázek 4.37: Spojení strun kytary, signálové země a ochranného vodiče zesilovače

V případě, že se fáze vlivem poruchy dostane na zem zesilovače a ochranný kolík nebudete zapojen, postačí, aby se kytarista dotkl jiného zemněného spotřebiče na pódiu, či pouze kovové části pódia a proud vykoná své.



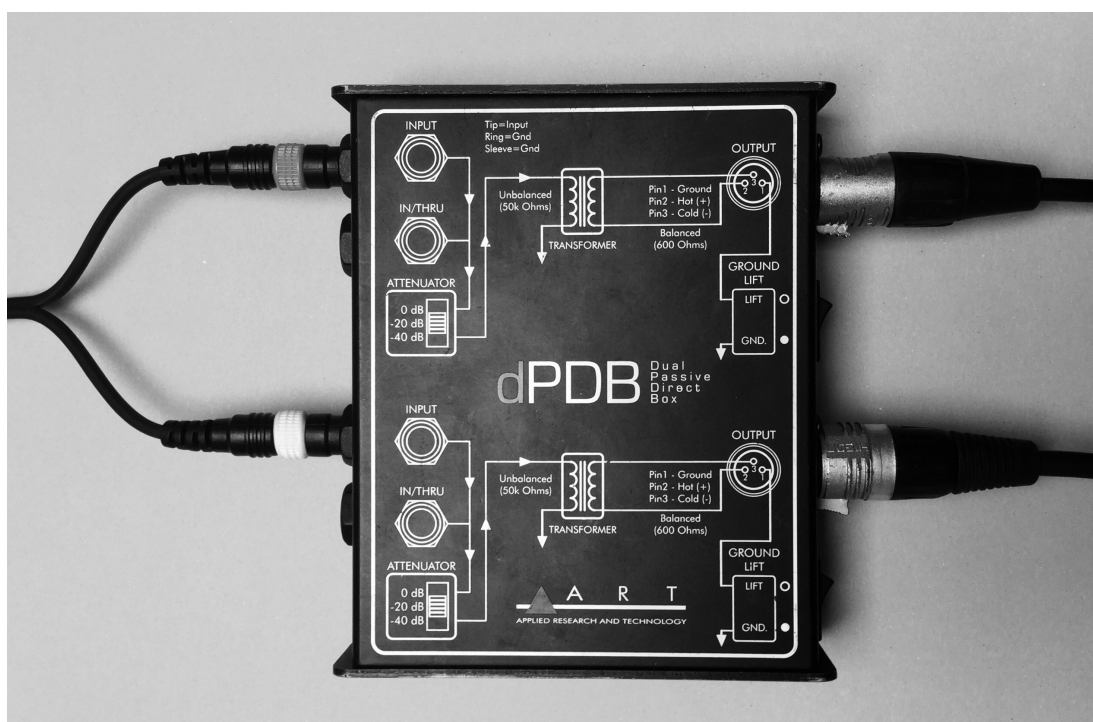
V žádném případě se nesmí řešit problémy s brumem odpojením ochranného vodiče, ať v přívodní šňůře nebo v zásuvce! Takovým zásahem se zařízení stává smrtící zbraní!

V multimediálním „terénu“ se tyto problémy řeší buďto užitím speciálně upravených signálových kabelů, které mají signálovou zem na jedné straně odpojenou, případně vřazením speciálního zařízení, tzv. *DI boxu*<sup>38</sup>, který mimo odzemnění

<sup>38</sup>Zkratka z anglického „direct injection box“. V praxi je to nenápadná krabička, do které si jako muzikant zapojíte signál ze svého nástroje. Krabička z něj udělá signál takových parametrů, aby se bez problému dostal až do mixážního pultu, který může být desítky metrů daleko.

signálové cesty umožňuje rovněž galvanické oddělení, symetrizaci signálu, či vřazení útlumového rezistoru.

Příklad takového DI boxu je na obrázku 4.38. Zdrojem signálu je výstup ze zvukové karty notebooku, který je k síti připojen třípólovou vidlicí, tj. je napojen na ochranný kolík, stejně jako mixážní pult, do kterého je zvukový výstup veden dvojicí audio kabelů. Brum síťové frekvence je odstraněn odpojením signálových zemí, ve schématu na zařízení jsou to spínače označené GROUND LIFT. To by samozřejmě stačilo provést např. použitím kabelů s odpojenou signálovou zemí, zde je ale navíc nesymetrický signál z notebooku převeden na symetrický, který je pak veden do symetrických vstupů na mixážním pultu. Na okraj rámcově poznamenejme, že symetrické vedení signálu umožní zbavení se parazitních složek, které se na vedení naindukují po jeho délce<sup>39</sup>.



Obrázek 4.38: Stereofonní DI box vřazený do cesty stereo signálu z NTB do mixu

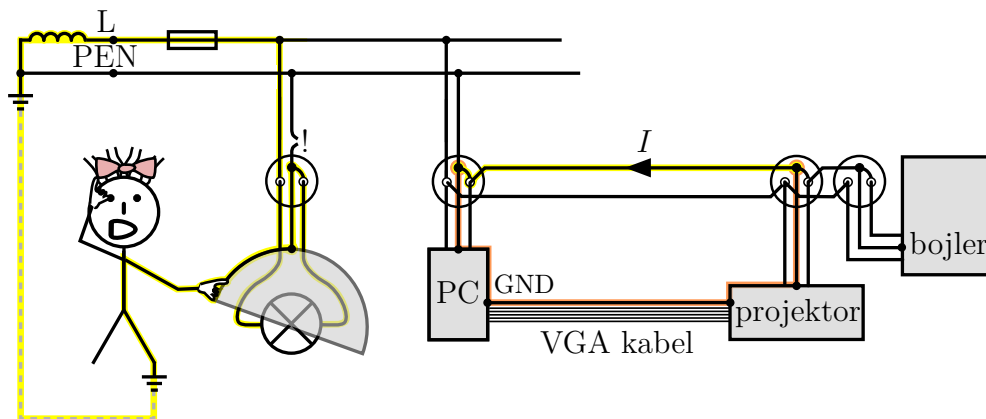
Problémy se zemními smyčkami jsou rozsáhlejším tématem a mohou při řešení konkrétních instalací potrápít. A rozhodně se netýkají pouze „starých“ instalací typu TN-C. Zemní smyčky vznikají i v moderních instalacích TN-S, kde mezi ochrannými kolíky žádné napětí nevzniká. Nicméně smyčka se stále chová jako rámová anténa, která „nachytává“ všemožné elektromagnetické rušení<sup>40</sup>. Zájemce o problematiku odkážeme na srozumitelné detailnější pojednání (Hill, 2016).

<sup>39</sup>Zjednodušeně řečeno se namísto jednoho průběhu napětí vůči GND vodiči vedou signály dva: HOT + a COLD -, a to v opačné fázi. Parazitní signál se naindukuje podél vedení do obou signálů stejně. Na vstupu mixážního pultu se jeden ze signálů invertuje a oba signály se složí. Při složení jsou parazitní signály v opačné fázi, tj. dojde k jejich odečtení. Více např. (Wikipedia, 2016).

<sup>40</sup>Jistě si vybavíme ono „tatat tatá“ které způsobuje právě komunikace mobilního telefonu s vysílačem.

### 4.3.3 Síť TN-S

V budování co nejspolehlivější elektrické sítě jsme skončili u sítě s názvem TN-C. Němálo předchozích stránek jsme věnovali různým nepříjemnostem, které z koncepce této sítě bezprostředně vyplývají. Připomeňme příčiny těchto problémů:



Obrázek 4.39: Problémy sítě TN-C vyskytující se v jednom elektrickém rozvodu

1. **Hliníkové vedení a proud vodičem PEN** – riziko přerušení PEN: nebezpečné napětí na bezvadném spotřebiči a nefunkční ochrana.
2. **Běžné pracovní proudy vodičem PEN** – napětí mezi ochrannými kolíky: problémy při signálovém propojování spotřebičů v různých zásuvkách.

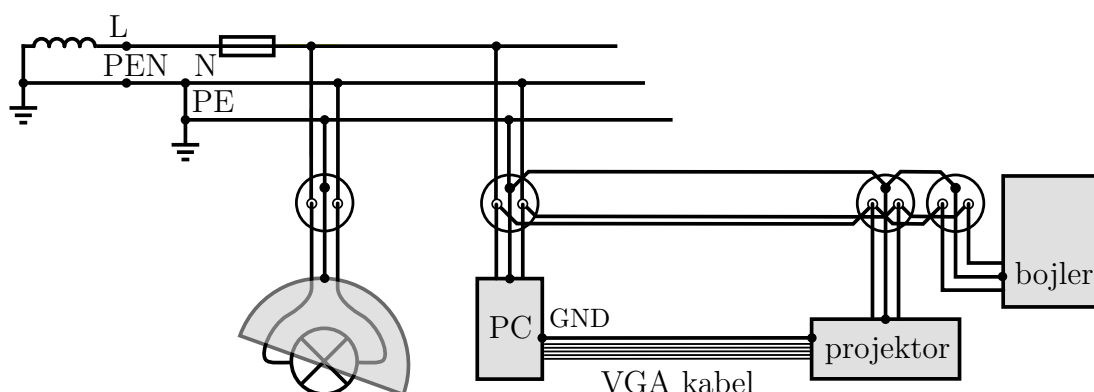
Obě příčiny i s následky jsou zobrazeny v jedné elektrické síti na obrázku 4.39. V první zásuvce zleva došlo k přerušení vodiče PEN, na spotřebiči se vyskytuje nebezpečné napětí a ochrana samočinným odpojením od zdroje nefunguje. V následujících zásuvkách je vodič PEN v pořádku, ale napětí mezi ochrannými kolíky, které je zapříčiněno proudem vodičem PEN, způsobuje špatný přenos dat po signálovém kabelu mezi spotřebiči.

Recept na řešení těchto problémů nás jistě napadne – přerušení PEN vodiče pod svorkou v zásuvce je způsobováno jednak průchodem elektrického proudu, jednak nedobrymi mechanickými vlastnostmi hliníku jako materiálu.

- Používejme tedy kabely s měděnými vodiči. Měděný vodič utažený pod svorkou „neteče“, riziko jeho přerušení je menší.
- Ochranný vodič, kterým teče v případě poruchy zkratový proud, doveďme k uzlu zdroje samostatným vodičem, žádné „šetřící zkratky“ přes vodič N!

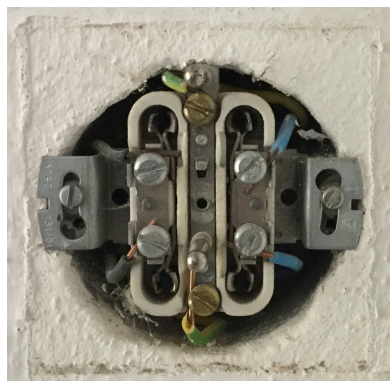
Problémy hliníkových rozvodů mohou být natolik znepokojující, že majitelé domovních rozvodů často investují do jejich rekonstrukce. Celkem překvapivě, rekonstrukce je to totiž náročná. Vždyt podle výše uvedených bodů je nutné všechny staré hliníkové dvou vodičové kabely nahradit měděnými tří vodičovými. Desítky metrů mědi – ta cena, sekání do zdi – ten nepořádek!

Ve schématu sítě zrealizujeme požadavek, aby byl ochranný vodič PE, který spojuje kostru přístroje s ochranným kolíkem zásuvky, dále veden samostatným vodičem, ne společně se středním vodičem N, jakožto vodičem PEN.



Obrázek 4.40: Úprava sítě TN-C na síť TN-S rozdělením vodiče PEN v rozvaděči

Výsledek je na obrázku 4.40. Ochranné vodiče spojené s přístupnými kovovými částmi přístrojů jsou prostřednictvím jejich síťových šňůr připojeny na ochranné kolíky zásuvek. Na místo spojení ochranného kolíků s pravou dutinkou zásuvky je ochranný vodič veden samostatným vodičem až do rozvaděče. Až zde je realizováno spojení s vodičem N, které je nutné k uzavření obvodu pro poruchový proud<sup>41</sup>.



Obrázek 4.41: Zapojení zásuvky v síti TN-S. Z ní vedou vodiče k další zásuvce.

Lze namítnout, že vodič se může v rozvaděči přerušit stejně dobře, jak se mu to dělo v zásuvce<sup>42</sup>. Ano, jistě, může – ale je to méně pravděpodobné. Vodiče ve svorkovnici rozvaděče jsou mnohem větších průřezů a samotná svorkovnice je robustnější a snadno kontrolovatelná.

Místo rozdělení vodiče PEN na ochranný vodič PE a střední vodič N se uzemňuje, jak jsme naznačili ve schématu. Původně kreslené místo uzemnění můžeme nyní považovat za zemnění uzlu transformátoru, na který je rozvod napojen. Transformátor je obvykle příliš daleko, proto vodič PEN pro zachování jeho nulového potenciálu vůči zemi průběžně na různých místech uzemňujeme<sup>43</sup>.

<sup>41</sup>Jde o podobnou úvahu, jako u sítě TT, ve které měl každý přístroj vlastní lokálně uzemněný ochranný vodič, s tím rozdílem, že zde ochranný vodič „integrujeme“ do kabelů ve zdi.

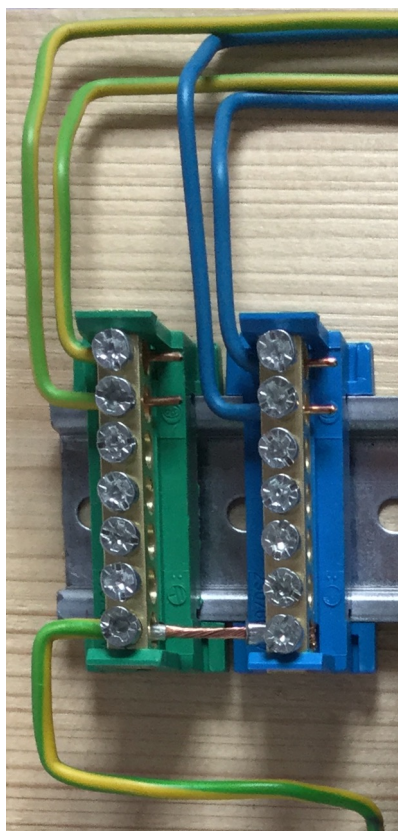
<sup>42</sup>Poznamenejme, že u starších a neudržovaných rozvodů se stává, že hlavní přívod vodiče PEN je poškozen. Je-li rozvod třífázový, pak jsou dva spotřebiče připojené k různým fázím sériově zapojeny ke sdruženému napětí 400 V, což má za následek poškození spotřebičů v domácnosti (typicky video, televize aj.).

<sup>43</sup>V případě že se přeruší hlavní přívod PEN do domu, „supluje“ spojení s uzlem zdroje právě propojení zemí.

Místo rozdělení vodiče PEN v modelu sítě TN-S je na obrázku 4.42. Svorkovnice ochranného vodiče je zelená, svorkovnice vodiče středního modrá. Vodič ve spodní části je přírodní PEN vodič. Ze svorkovnic vede vzhůru dvojice vodičů ke dvěma zásuvkovým okruhům. Viditelné vodiče k zásuvkám doprovázejí ještě fázové vodiče z jističů, které jsou umístěny mimo snímek.

**Ochrany: síť TN-S (obr. 4.40 na str. 80)**

Zkrat  Přetížení  Živé části  Neživé části   
 Jednopolový dotyk  Dvoupólový dotyk



Obrázek 4.42: Místo rozdělení vodiče PEN ve vodiče PE a N.

Když došlo k přerušení vodiče PEN na cestě k zásuvce sítě TN-C, zapojený spotřebič nefungoval – porucha tím na sebe upozornila a bylo možné zjednat (i sjednat) opravu. Přerušení vodiče PE na cestě k zásuvce v síti TN-S však o sobě takto vědět nedá. Porušení ochranného obvodu nikdo nepozná, až do chvíle, kdy dojde k úrazu elektrickým proudem při dotyku porouchaného spotřebiče.

Naštěstí instalace již zmíněné doplňkové ochrany v podobě proudového chrániče dobu trvání takové rizikové situace omezí a zařízení okruh s vadným spotřebičem rychle odpojí. Proudový chránič tak bude jakousi kouzelnou krabičkou, která „vztáhne svou ochrannou ruku“ v případě, kdy selže standardní ochrana samočinným odpojením od zdroje, ale i v mnohých dalších případech.

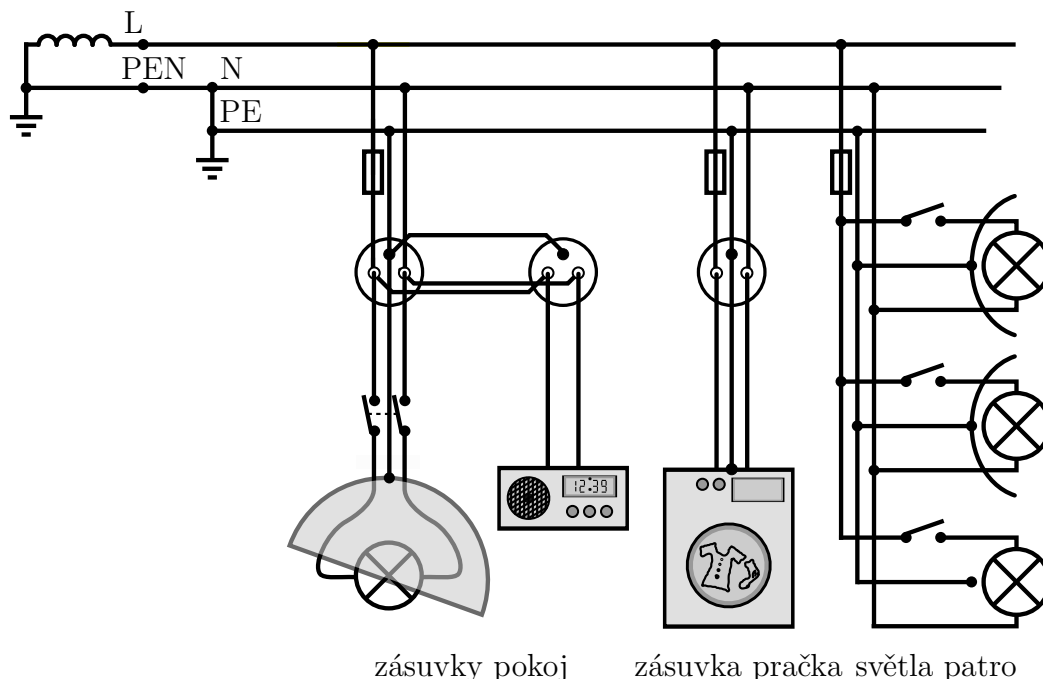
Právě jsme vyplnili tabulku ochran pro síť TN-S. Překvapení – oproti síti TN-C nic nového! Vylepšení jsou pod rozlišovací schopnost tabulky. Síť TN-S především odstranila problémy vlastní sítě TN-C, konkrétně:

- **snížila riziko přerušení cesty poruchového proudu** (riziko znefunkčnění ochrany před nebezpečným dotykem), protože ochranný vodič není namáhán pracovními proudy.
- **zamezila vzniku napětí mezi kostrami přístrojů na různých zásuvkách** (mezi ochrannými kolíky je nulové napětí), protože ochrannými vodiči netečou pracovní proudy – není na nich úbytek napětí.

Síť TN-S, tak jak jsme ji vybudovali, sice na první pohled nerozšířila spektrum ochran, avšak prozradme, že v budoucnu umocní funkci dalšího přidaného prvku dodatečné ochrany, tzv. *proudového chrániče*.

Kromě vyřešení problematických vlastností sítě TN-C však síť TN-S přinesla jednu záludnou nepříjemnost.

Zkusme nyní zapojit spotřebiče elektrické sítě z obrázku 4.28 na straně 69 do sítě TN-S. V síti TN-S jsou všechny zásuvky připojeny třívodičovým kabelem, spojení středního a ochranného vodiče je realizováno v rozvaděči nebo u hlavní přípojky. Ochranný vodič je veden i ke každému světlu, v případě, že nemá kovové stínítko, vodič není zapojen. Má-li zásuvka ochranný kolík, musí být bezpodmínečně zapojen, i když je v zásuvce zapojen pouze spotřebič s dvoupólovou vidlicí (viz radiobudík). Výsledná síť je na obrázku 4.43.



Obrázek 4.43: Schéma části TN-S sítě domácnosti se třemi chráněnými okruhy

Reálné pohledy do instalace sítě TN-S jsou na obrázcích 4.44. Na snímku vlevo je pohled do horní části rozvaděče rodinného domu. Ze svorkovnice vedou ochranné vodiče (zeleno/žluté) a střední vodiče (modré) k jednotlivým zásuvkovým a světelným okruhům. Rozbočení vodiče PEN je v tomto případě realizováno již v elektroměrné skříni. Na snímku vpravo je pak zapojení svítidla v pokoji. Ochranný vodič PE je prostřednictvím úhlového držáku objímky spojen s kovovým stínítkem.



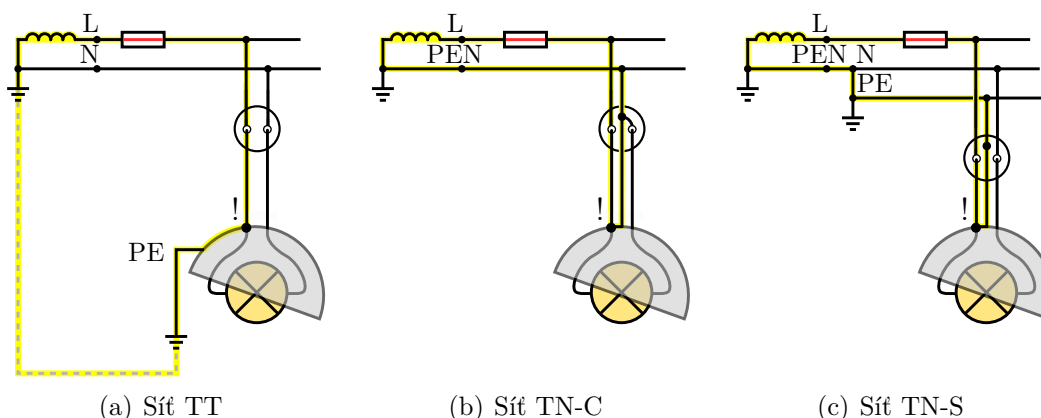
(a) Hlavní svorkovnice vodičů N a PE v rozvaděči



(b) Zapojení objímky svítidla

Obrázek 4.44: Pohledy do reálné elektroinstalace v síti TN-S

Závěrem odtajněme, podle čeho jsou jednotlivé sítě pojmenovávány. Dosud jsme se setkali se třemi typy sítí: TT, TN-C a TN-S<sup>44</sup>.



Obrázek 4.45: Nebezpečné napětí na neživé části ve všech typech sítí znamená zkrat následovaný přerušením obvodu pojistkou nebo jističem

Sítě máme na obrázku 4.45 zobrazené v situaci, kdy došlo k prodření fázevého vodiče na kostru spotřebiče. Ve všech případech je uzavřen poruchový obvod (podbarveno žlutě), na poruchový proud velikosti zkratového proudu zareaguje jistič a okruh s poškozeným spotřebičem je automaticky odpojen od sítě.

Sítě pojmenováváme názvy složenými z počátečních písmen z francouzských slov podle následujících kritérií (oenergetice.cz, 2017):

1. První písmeno určuje, zda je uzemněn uzel zdroje (tj. zda je potenciál středního vodiče ztotožněn s potenciálem země)
  - I (isolé) – uzel není spojen se zemí
  - T (terré) – uzel je uzemněn
2. Druhé písmeno říká, jakým způsobem je provedena ochrana neživých částí spotřebičů
  - T (terré) – neživé části spojeny vlastním ochranným vodičem se zemí
  - N (neutré) – neživé části spojeny ochranným vodičem s uzlem zdroje
3. Za pomlčku se v případě spojení ochranného vodiče s uzlem zdroje přidává
  - C (combiné) – funkci ochrannou a pracovní zastává jeden vodič, vodič PEN
  - S (separé) – funkci ochrannou a pracovní zastávají samostatné vodiče, vodič PE a vodič N

Ověřte, že pojmenování sítí na obrázcích 4.45(a), 4.45(b) a 4.45(c) je v souladu s právě uvedeným přehledem.

<sup>44</sup>Sít' TN-S, tak jak ji máme na obrázku 4.45(c), je formálně vzato sít' TN-C-S. Je tu malá část sítě hned za přípojkou, kde je funkce ochranného a pracovního vodiče sloučena ve vodič PEN, a až následně dochází k rozdělení na dva samostatné vodiče PE a N.

Závěrem varování – rozhodně nelze říci, že síť TN-S je jediné ideální řešení. Kromě již zmíněné sítě TT se instalují i sítě IT, které nemají uzel zdroje uzemněný. Takové sítě mají jiné vlastnosti a používají se například na operačních sálech, či na jednotkách intenzivní péče (oenergetice.cz, 2017).

#### 4.3.4 Síť s proudovým chráničem

Již dříve jsme se zmínili o jakési „kouzelné“ krabičce, která zasahuje v situacích, kdy už se zdá být všechno „ztraceno“. Nyní si ukážeme, k čemu toto zařízení slouží, přesněji co přinese jeho zařazení do sítě TN-S, zvláště ve spojení s případnými nebezpečnými situacemi. Jeho vnitřní konstrukcí se budeme zabývat později.

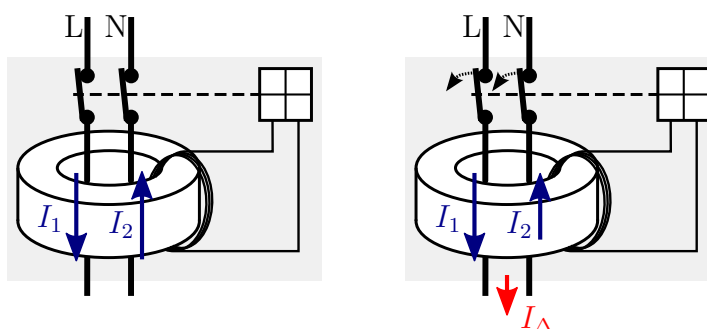


Obrázek 4.46: Proudový chránič instalovaný v hlavním rozvaděči

*Proudový chránič* (tzv. „fíčko“, FI – fault intensity, RCD – residual current device) je zařízení, které se vřazuje do cesty pracovních vodičů<sup>45</sup>. To je strategická pozice, protože porovnáváním proudů tekoucích těmito vodiči může zařízení kontrolovat, zda se všechny proud tekoucí fázovým vodičem ke spotřebiči vrací zpět k uzlu zdroje vodičem středním. V případě, že proudy nejsou stejné, signalizuje to unikající proud a chránič příslušnou část obvodu odpojí od sítě.

Schéma proudového chrániče tvoří jakýsi „prsteneček“ a „kontrolované“ vodiče<sup>46</sup>. Rozepínací dvoupólový mechanismus je aktivován, jestliže je detekován rozdíl ve velikostech proudů ve vodičích. Na obrázku 4.47 jsou po řadě situace, ve kterých je:

- $I_1 = I_2$ , tj. proud tekoucí fázovým vodičem ke spotřebiči je roven proud vracíjícímu se středním vodičem zpět (standardní stav, chránič „drží“),
- $I_1 > I_2$ , tj. proud vracíjící se středním vodičem je menší než proud tekoucí fázovým vodičem ke spotřebiči (část proudu uniká, dojde k odpojení).



Obrázek 4.47: Proudový chránič přeruší obvod, dojde-li k úniku proudu (červeně)

<sup>45</sup>Pracovními vodiči jsou ty vodiče, kterými za běžného provozu teče proud napájející spotřebiče. V případě jednofázové sítě TN-S to jsou vodiče L a N, v případě třífázové sítě TN-S vodiče  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  a N. Principiálně je konstrukce jednofázových i trojfázových proudových chráničů stejná, liší se přirozeně pouze v počtu primárních cívek a odpovídajících vývodů. Více později.

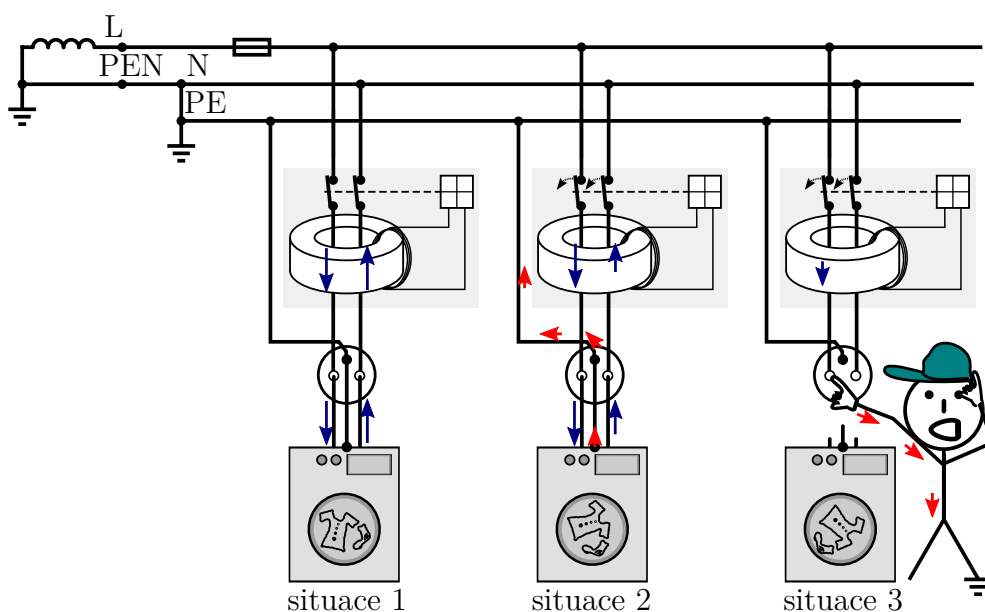
<sup>46</sup>Princip funkce proudového chrániče bude vysvětlen podrobně později, a to v kapitole *Proudový chránič* na straně 95



Zdůrazněme, že uvažované proudy jsou střídavé<sup>47</sup>, tj. velikost šipek v obrázcích odpovídá jejich efektivním hodnotám, šipky pak naznačují směr proudu v těch půlperiodách, kdy má fázový vodič vzhledem ke střednímu vodiči kladný potenciál. Z tohoto hlediska je nutné brát s rezervou jazyková vyjádření typu „teče ke spotřebiči“ a „vrací se od spotřebiče“<sup>48</sup>.

Proč má proudový chránič reagovat na nenulový rozdíl proudů pracovními vodiči bude zcela zřejmé z obrázku 4.48. Nejsou-li proudy stejné, znamená to, že existuje uzel, ze kterého část proudu „uniká“ do uzlu zdroje, a to jinou než oficiální cestou středním vodičem. Situace jsou typově tři:

1. **Žádná porucha ani nebezpečí:** Všechny proudy se „vrací“ oficiální cestou (vodičem N), žádný rozdíl proudů, proudový chránič nevybavuje.
2. **Nebezpečný dotyk neživé části:** Úměrná část proudu v závislosti na rozsahu poruchy uniká na kostru přístroje, tento proud teče mimo oficiální cestu ochranným vodičem PE vně chráničce do uzlu zdroje. Chránič vybaví.
3. **Nebezpečný dotyk živé části:** Ze sítě je odebírán proud (omezený odporem člověka), který teče mimo oficiální cestu zemí vně chráničce do uzlu zdroje. Chránič vybaví.



Obrázek 4.48: Tři situace s pračkou a zásuvkou chráněnou proudovým chráničem.

- Situace 1: Pračka v bezvadném stavu, proudový chránič nevybavuje.
- Situace 2: Díky poruše teče část proudu přes kostru a vodič PE, proudový chránič vybaví.
- Situace 3: Majitel hřebíkem napružuje kontakt fázové dutinky před zapojením pračky, proud omezený odporem člověka teče přes zem do uzlu zdroje, žádný se nevrací zpět, proudový chránič vybaví.

<sup>47</sup>Samozřejmě existují i sítě stejnosměrné. V takových však klasické „neelektronické“ proudové chrániče z principu jejich konstrukce nefungují.

<sup>48</sup>Fakticky vzato se elektrony například ve vlákne žárovky za dobu její existence daleko za své hranice „nepodívají“ – tzv. *driftová rychlost* je velmi malá, řádově  $10^{-5} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Uvědomme si, že v síti bez proudového chrániče by obrázkem 4.48 na straně 85 nastíněný typ poruch a nebezpečných situací nebyl nijak ošetřen. Pračka by běžně „kopala“ a majitel investigativně upravující dutinku v zásuvce by už možná nežil. Jistič by v situaci majitelova jednopólového dotyku fáze nepomohl vůbec (proud by nebyl dostatečně velký). V situaci probíjející pračky by jistič vybavil jen v extrémním případě, když by došlo k úplnému prodření fázového vodiče na kostru (proud by dosáhl zkratové velikosti).



Obrázek 4.49: Venkovní rozvaděč s proudovým chráničem na jedné pražské tržnici

Oproti ochraně jističem je tu jeden významný, na první pohled skrývající se, rozdíl. V případě, že je spotřebič poškozený takovým způsobem, že zafunguje ochrana samočinným odpojením od zdroje („spadne jistič“), tak je tak učiněno hned při zapojení spotřebiče do zásuvky nebo vzniku poruchy, člověk tedy vůbec „ránu“ dostat nemusí! Jde o ochranu **před dotykem části s nebezpečným napětím**. V případě, že poruchový proud není dostatečný (situace dotyku fáze v zásuvce) jistič samozřejmě nereaguje, takže odpojení nebezpečného obvodu zůstane na proudovém chrániči, je-li na příslušném okruhu instalován. Ten ale vybaví až v okamžiku, kdy zaregistruje únik proudu. To znamená, že určitou „chvilku“ přeci jen člověkem nebezpečný proud protéká! Proudový chránič tedy chrání až **při dotyku části s nebezpečným napětím**.

Popsané užití proudového chrániče nese název *doplňková ochrana proudovým chráničem s  $I_{\Delta n} \leq 30 \text{ mA}$* , který předesílá, že proudový chránič je doplňkovou ochranou, nemůže být instalován samostatně, pouze doplňuje a vylepšuje nějaký jiný typ ochrany:

- dvojitou izolaci (člověk ji může rozbít),
- samočinné odpojení od zdroje (člověk použije špatnou prodlužovací šňůru),
- ochranu krytím (člověk se „vrtá“ v zásuvce, televizi).



Praxe nevázaného a nekvalifikovaného zasahování do elektroinstalace s odvoláváním se pod ochranu proudového chrániče je velké hazardování se životem!

Rekapitulujme tabulkou, jaké věci jsou ošetřeny v síti TN-S s proudovým chráničem. Nově by měl v případě jednopólového dotyku příslušnou část sítě do stanoveného času odpojit proudový chránič. Tímto ale skončíme, bohužel, čistý dvoupólový dotyk nijak neošetříme, síť principiálně nepozná rozdíl mezi nabíječkou na telefon a mezi stejné zdičky zapojeného člověka v dobrých bačkorách.

**Ochrany: síť TN-S s proudovým chráničem (obr. 4.48 na str. 85)**

Zkrat     Přetížení     Živé části     Neživé části   
Jednopólový dotyk     Dvoupólový dotyk

Vzhledem k vyšší pořizovací ceně proudových chráničů je často instalován pouze jeden proudový chránič, který chrání celý rozvod<sup>49</sup> Nevýhoda takové instalace pro větší objekt je zřejmá. V současné době existují i ochranné prvky, které integrují funkce jističe i proudového chrániče.

### Možnosti doplňkové ochrany v síti TN-C

Proudový chránič může chránit pouze síť typu TN-S, nikoli síť TN-C. Prakticky by proudový chránič fungoval i v síti TN-C, a to v případě poruchy, při které uniká proud do země. Pokud by ale proud tekla přes kostru přístroje pouze ochranným vodičem, proud by dále z kolíku pokračoval opět pracovním vodičem PEN, tj. ne „bokem“, a proudových chránič by nic nepoznal. Nicméně hlavním důvodem, proč se chránič v síti TN-C nesmí používat je skutečnost, že vodič PEN v síti TN-C nesmí být ani odpojován, ani spínán<sup>50</sup>. Je to přirozené, protože odpojením vodiče PEN přestává fungovat ochrana sítě. Představte si, co by se mohlo stát, kdyby se kontakt fáze proudového chrániče nerozpojil, zatímco kontakt vodiče PEN ano<sup>51</sup>.



Obrázek 4.50: Proudový chránič do zásuvky (fkt.cz (2017))

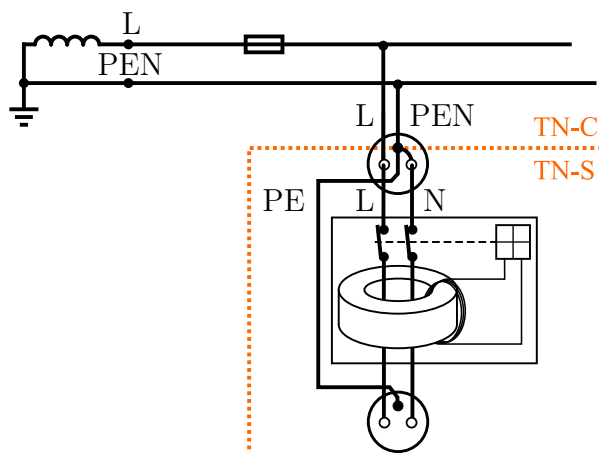
Nyní by se mohl ozvat pan Potápka, který má síť typu TN-C a přesto má proudový chránič v síti zapojený. Než ho „odsoudíme“, že hazarduje se životem, podívejme se, jak a kde má proudový chránič zapojen. Vidíme zahradní bazén, jehož filtrační jednotka a osvětlení je napájeno ze zásuvky přes jakýsi adaptér, viz obrázek 4.50!

<sup>49</sup>S výjimkou zásuvek, do kterých jsou trvale zapojeny spotřebiče, u nichž únikové proudy spotřebičů jsou velké a způsobovaly by nežádoucí vypnutí centrálního chrániče – např. starší ohřívač vody. Mimo chránič bývají rovněž zapojeny přístroje, které si nemohou dovolit při nežádoucím vybavení centrálního chrániče nefungovat – např. mraznička, lednička, server, požární bezpečnostní systém.(elektroprumysl.cz, 2017)

<sup>50</sup>ČSN 33 2000-4-46:2002, čl. 461.2

<sup>51</sup>Jde o ekvivalentní jev k již diskutované situaci přerušení hliníkového vodiče PEN v zásuvce.

Takové zapojení je samozřejmě možné a dříve zmíněné pravidlo o nepřipustnosti přerušování vodiče PEN neporušuje. Sít TN-C je ve své podstatě totiž od zásuvky směrem ke spotřebiči s trojpólovou vidlicí i přívodním kabelem již sítí TN-S<sup>52</sup>, kde již chránič být může, protože vodič N, zapojený na pravé dutince, neplní ochrannou funkci a může tak být rozpojován. Ochranou funkci převzal samostatný ochranný vodič PE, do jehož cesty proudový chránič nijak nezasahuje. Viz obrázek 4.51. Oranžově je vyznačen předěl, od kterého je sítí TN-C formálně sítí TN-S.



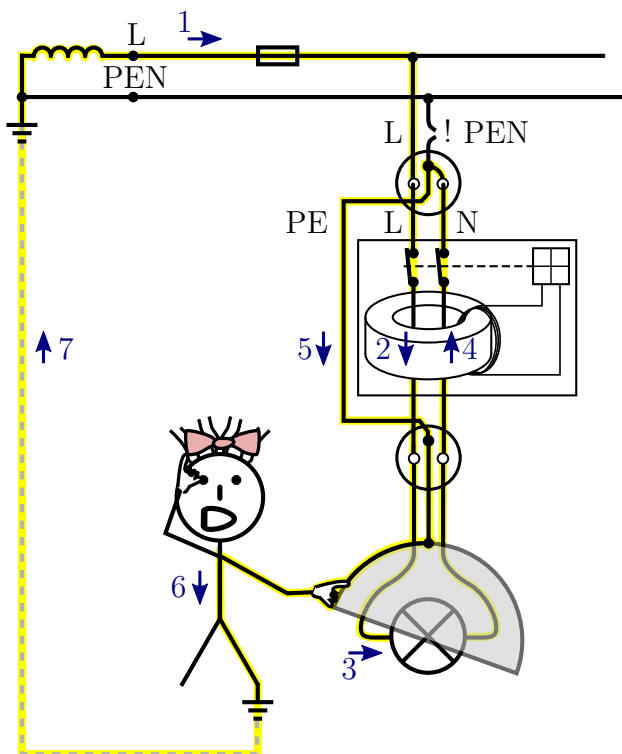
Obrázek 4.51: Přípustné zapojení proudového chrániče do zásuvky v síti TN-C

Nabízí se otázka, zda by v zásuvce zapojený proudový chránič náhodou nepomohl v situacích typických pro TN-C síť vedené v hliníku – při onom pověstném „odpadávání“ vodičů. Zjistíme tedy, zda zareaguje proudový chránič v případě, že se v zásuvce přeruší vodič PEN.

Ač to na první pohled vypadá, viz obrázek 4.52, že tu nějaký unikající proud teče, proudový chránič nezareaguje, obvod neodpojí, protože tuto situaci nevyhodnotí jako nebezpečnou.

Všechny proud, který teče od zdroje (1) vodičem L přes proudový chránič (2) spotřebičem (3), se totiž nejprve celý „vrátí“ (4) zpět do zásuvky, a až poté se vydá cestou ochranným vodičem (5), který jde mimo chránič, protéká stínítkem a skrz nebohého člověka (6) pokračuje přes zem a uzavírá obvod (7).

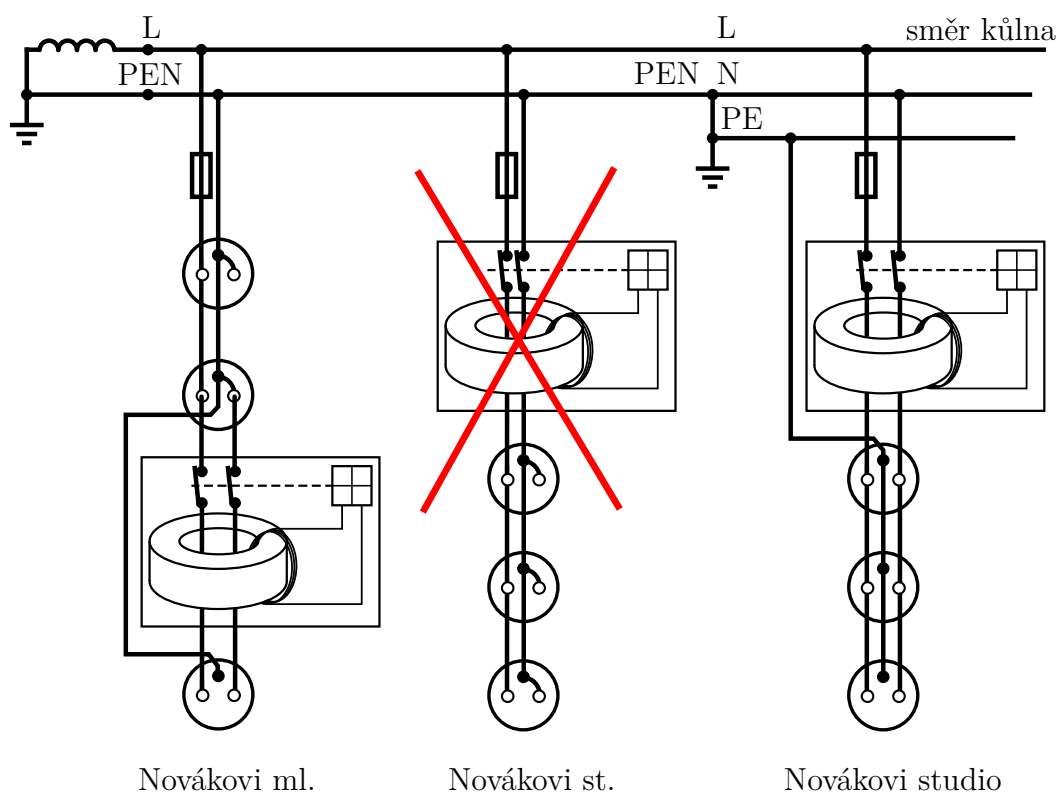
Poznamenejme, že člověk a spotřebič (společně s příslušnými vodiči a zemí) jsou v této situaci zapojeni sériově k napětí 230 V.



Obrázek 4.52: Proudový chránič a přerušování vodiče PEN před jeho rozdělením na PE a N

<sup>52</sup>Ochranná a pracovní funkce vodiče PEN je oddělena, ochrannou funkci plní vodič PE, pracovní funkci vodič N.

Shrňme nyní možná (ne všechna správná) zapojení proudového chrániče na příběhu vylepšování elektroinstalace vícegeneračního domu rodiny Novákových.



Obrázek 4.53: Zapojení proudových chráničů v domě u Nováků

**Amálko, děda si jen skočil koupit chránič.** Nedlouho potom, co se Honza, syn pana Nováka, oženil, začal rekonstruovat patro domu svých rodičů na celkem schopný byt.

Vzhledem k tomu, že v rámci stavebních úprav byl v 90. letech starý hliníkový rozvod typu TN-C modernizován do mědi a nebyly s ním nikdy žádné problémy, rozhodl se ho na síť TN-S nepředělávat. Od přesekávání elektriky ho navíc odrazovala skutečnost, že manželka měla každou chvíli porodit a byl i tak rád, že stíhal všechno to shánění kočárků, plínek a dětských chůviček. Byl si však vědom bezpečnostního rizika absence proudového chrániče, především v koupelně. S očekáváním nového přírůstku toto riziko nebral na lehkou váhu a investoval do doplňkového proudového chrániče, který do zásuvky v koupelně zapojil. „Teď už bude při sušení Amálka v bezpečí,“ zbilancoval spokojeně Honza svůj investiční počín a šel se pochlubit k rodičům při jejich tradiční každodenní večerní kávě. Honzův tatínek, toužebně očekávající den, kdy se stane dědečkem, se ulekl: „však taky někdy bude přebývat u nás, Amálka, a my proudový chránič nemáme!“

Druhý den proto aspirant na dědečka koupil proudový chránič a vřadil ho hned za hlavní jistič rozvodu dolního bytu a spokojeně si zabručel: „mladej si chrání jednu zásuvku, to já je mám chráněný všechny!“.

Když paní Nováková změnila žárovku na půdě, z níž chtěla snést nějaké hračky, dotkla se fázového kontaktu, dostala ránu a začala padat z přistavené krabice.

V té chvíli panu Novákovi staršímu uhasla naděje stát se dědečkem, zrovna si totiž skřípl prst mezi ochranný kolík a plastovou krytku, kterou opatřoval zásuvky, aby do nich malá něco nestrčila.

„Škoda, že se pan Novák už nedozví, co se stalo,“ konstatoval znalec po prošetření situace, „manžel umožnil, aby ho zabila manželčina nehoda, protože instaloval proudový chránič proti předpisům. To byla chyba, protože chránič měl výrobní vadu – jeden z kontaktů chrániče byl trvale zablokovaný.“

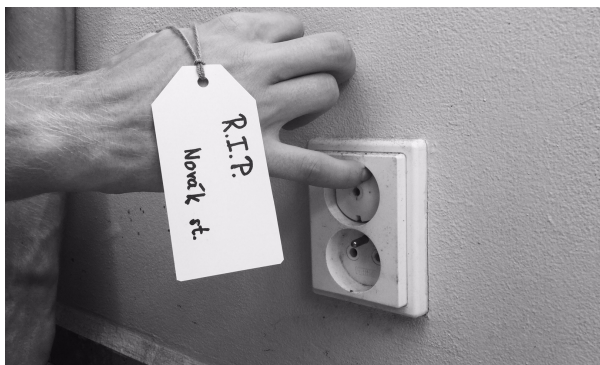
*Selhala funkce špatně zapojeného ochranného prvku a způsobila situaci jako ve starém hliníkovém TN-C rozvodu – přerušení PEN vodiče, zde ale dokonce přímo na začátku rozvodu. Chránič rozpojil vodič PEN, ale neodepnul fázi, čímž se fáze přes zapnutý spotřebič dostala díky ochraně nulováním na ochranný kolík panem Novákem zabezpečené zásuvky.*

Když malá Amálka vyrostla a začala se ptát, kam šel děda, rodiče ji obeznámili se smutnou historií jeho bezpečnostních snah. V rámci vypořádávání se s depresemi z toho všeho jí bylo doporučeno, aby se začala věnovat naplno nějaké činnosti. A protože byla opravdu nadanou muzikantkou, zbudoval jí tatínek na osudné půdě malé nahrávací studio. Aby nebyl problém s brumem při propojování audio techniky v produkční a nahrávací místnosti, projektant trval na síti TN-S. Během podepisování smlouvy se při pohledu na položku *proudový chránič* Honza lehce orosil, nicméně byl ujištěn, že instalaci provedou osoby s odpovídající kvalifikací. Pokud náhodou Amálka neumřela, žije tam díky správně instalovanému proudovému chrániči dodnes...

Poselství příběhu je jasné. I když si můžeme být sebevíce jisti, že náš zásah do elektroinstalace nemá chybu, můžeme se značně mýlit. Proto:



Do elektroinstalace smí zasahovat pouze osoby příslušné kvalifikace. Nekvalifikované úpravy instalace vedou k ohrožení života nic netušících uživatelů sítě. Stejně jako si pravděpodobně necháte vyndat žlučník od chirurga, i když se vám nabízí řezník od naproti, přenechte záležitosti elektroinstalace odborníkovi.



## 4.4 Domácnosti se sítí TN-C a TN-S

Oficiální statistika, která by informovala o podílu domácností, kde stále setrvává rozvod TN-C, ať už „v hliníku“, nebo rekonstruovaný „v mědi“, zřejmě neexistuje. Jistý obrázek získáte prověřením vámi dostupných objektů, případně v diskuzi na serveru [elektrika.cz](http://elektrika.cz) ([elektrika.cz](http://elektrika.cz), 2017).

*Bydlím v rodinném domku z 30. let, který prošel drobnou přestavbou v 70. letech. Část okruhů je v TN-S, něco málo je ještě v TN-C, ale v „mědi“, předělané v 80. letech. Proudové chrániče mám pouze pro zásuvkové okruhy v „nebezpečných“ prostorech.*

– Diskutující 1, ([elektrika.cz](http://elektrika.cz), 2017), upraveno

Diskutující je elektrikář. Je-li síť TN-C pravidelně udržována, může celkem bez problému fungovat. V tomto případě byl při rekonstrukci sítě TN-C „hliník“ nahrazen „mědí“, některé části jsou již modernizovány do sítě TN-S.

*Já, panel byt, kolaudovaný 91. TN-C Al, zfušovaný jádro v Cu ale nazvat TN-S to nejde. Mezi koupí a nastěhováním se mě do elektřiny nechtělo, dneska bych si za to asi nakopal.*

– Diskutující 2, ([elektrika.cz](http://elektrika.cz), 2017), upraveno

Diskutující hovoří o panelovém bytě se sítí TN-C „v hliníku“. Lituje, že elektřiku „nepřesekal“ ještě před nastěhováním, zřejmě má zkušenost s problémy diskutovanými v předchozích kapitolách.

*.. ovšem v hliníku TN-C bydlí zbytek rozsáhlé rodiny po barácích i panelácích s elektroinstalací z let cca 1950-80. Problémy jsou s nejstarší instalací (každou chvíli něco vyhoří), ovšem majitel na skutečnou technickou nutnost předělání neslyší. Stále mu říkám, že kvůli tomu, že je to u něj shnilé a vypálené, dokonce dva byty (konvice, mikrovlnky, myčka, pračka) jedou na jeden jistič, to už nemohu dál opravovat, jen komplet předělat...*

– Diskutující 3, ([elektrika.cz](http://elektrika.cz), 2017), upraveno

Problémy s „živoucími“ hliníkovými TN-C sítěmi, jejichž strašidelnost zapříčinují „shnilé“ a „upálené“ vodiče, zřejmě bude trápit především nájemce starých bytů s majiteli, kteří při problémech provádějí pouze nejnnutnější opravy a pomýšlení na nákladnou rekonstrukci jim způsobuje „vyrážky“.

*Domek, stáří cca 120 let, elektrifikace někdy kolem 1930, která víceméně sloužila původním majitelům až do někdy roku 2000. Někdy před pěti lety, po majetkovém vyrovnání s nebožkou, kompletní rekonstrukce do TN-S, osazen hromosvod nebo bleskosvod?, rozvod struktury, EZS a kamerový systém.*

– Diskutující 4, ([elektrika.cz](http://elektrika.cz), 2017), upraveno

Nové generaci (technologické i společenské) původní rozvody nedostačují, především v počtu zásuvek a dimenzování jednotlivých okruhů. Když už tedy dochází všeobecně k bytové rekonstrukci, elektrické rozvody se udělají nové, i přestože je původní rozvod v relativně dobré kondici.

*Byt ještě v TN-C? Proč zoufalec? Dům z 80tých let minulého století na kterém je vidět, kde bývalý majitel za dob reálného socialismu pracoval. Síť TN-C mi nijak nevadí a rozhodně instalaci předělávat nebudu. (mj. mám zákaz jakéhokoliv sekání do zdi)*

– Diskutující 5, (*elektrika.cz*, 2017), upraveno

S hliníkovými rozvody je obecně problém, při rekonstrukci jsou kabely s hliníkovými vodiči nahrazovány kabely s vodiči měděnými. Další účastník přispívá do diskuze praktickým náhledem:

*Rodiče bydlí v RD (1973) tedy hliníková klasika nulováním. Pokud by bylo reálné dotahování spojů v krabicích a zásuvkách nikdo by si instalace ani nevšiml. Vyjiskřenosti jsme doplnili dočasně wagosvorkami a teď jen vyhlížíme ten správný důvod rekonstrukci.*

– Diskutující 6, (*elektrika.cz*, 2017), upraveno



Obrázek 4.54: Rozvod starého mlýna zoufale vyhlížející rekonstrukci

Vyjádření *rekonstrukce elektriky* neskrývá pouze provedení nějakých dílčích oprav. Ve většině případů po původní instalaci nezůstane ani „šroubek“, starý rozvod je kompletně odstraněn a je provedena instalace zcela nových komponent.



## 4.5 Jistič a proudový chránič

### 4.5.1 Jistič

Jističe jsou zařízení, která v domovních rozvaděcích postupně nahradila pojistky. Po jističi požadujeme totéž, co po pojistce – přerušit obvod v případě, že obvodem teče „příliš velký proud“. Oproti pojistce však není jistič na jedno použití, ale lze ho opět „nahodit“. Proto se fyzikální princip jističe od pojistky liší.

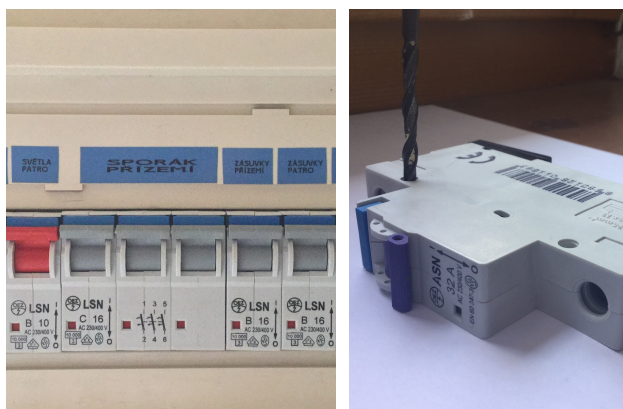
Nahlédněme do „útrobu“ jističe, tak jak ho známe z rozvaděče, obrázek 4.55(a). Jistič nám po odvrtání spojovacích nýtů, obrázek 4.55(b), ukáže svou vnitřní strukturu, obrázek 4.55(c): *přípojné svorky (1 a 10), bimetalový pásek (2), spřáhlo tepelné spouště (3), „punčoškové“ propojení (4) bimetalu a rozpínatelného kontaktu (5), vysouvací tyčka (6), cívka s volným jádrem (7), ovládací páčka (8) a zhášecí komora (9)*. Obrázek je ve vyšším rozlišení v příloze 5.

Jistič chrání před nadproudem příslušný zásuvkový nebo světelný okruh tím, že obvod rozpojí aktivací:

1. tzv. **tepelné spouště**, dochází-li k přetížení (dlouhodobější proudové zatížení způsobující nepřijatelné oteplení instalovaných vedení),
2. tzv. **elektromagnetické spouště**, dojde-li ke zkratu (okamžitý obrovský nárůst proudu spojený s uvolňováním velkého množství tepla).

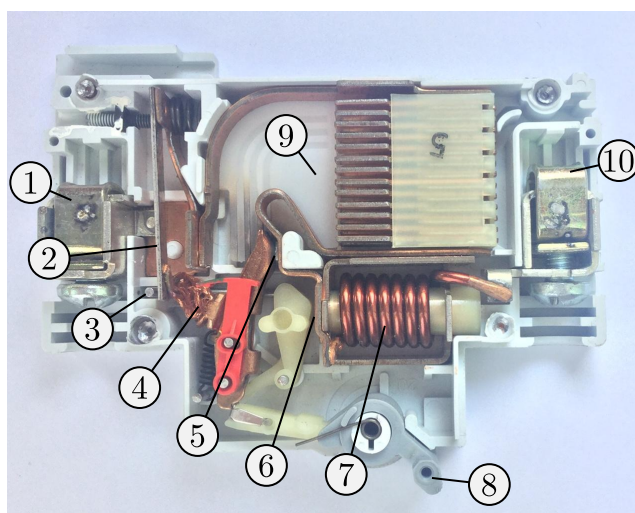
Tepelná spoušť je realizována bimetalovým páskem (2), kterým protéká proud odebíraný chráněným okruhem. Při déletrvajícím nadproudu dochází vlivem nárůstu teploty k ohýbání pásku, který v určitém okamžiku aktivuje mechanismus rozpojení kontaktu (5), s nímž je volný konec pásku spřažen (3).

☞ *Pro simulaci činnosti tepelné spouště připojte „nahozený“ jistič ke tvrdému zdroji napětí, který je schopen dlouhodobě dodávat velké proudy. Dobře poslouží napětí z několika článků školního NiFe akumulátoru. Viditelné ohýbání bimetalového pásku je zakončeno „cvaknutím“ vypínacího mechanismu.*



(a) Instalován v rozvaděči

(b) Samostatně



(c) Vnitřní stavba jističe

Obrázek 4.55: K výkladu funkce jističe

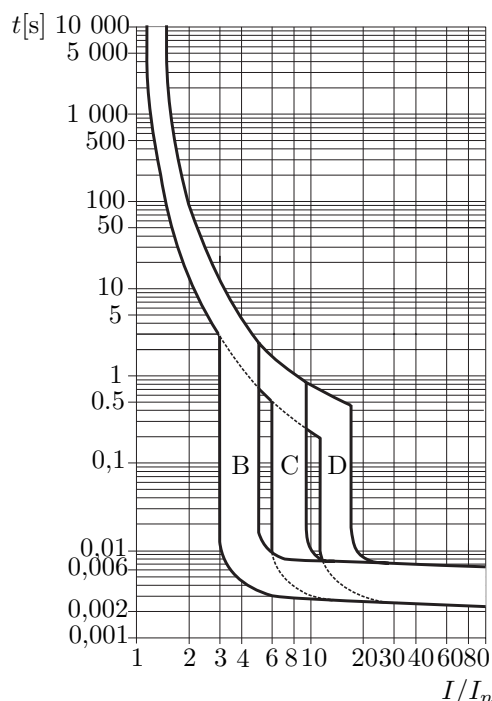
Elektromagnetická spoušť je tvořena elektromagnetem s asymetricky uloženým volným napruženým jádrem (7). V případě zkratu začne téct cívkou elektromagnetu, kterou je opět vedený proud chráněného okruhu, tak velký proud, že způsobí vtažení pohyblivého jádra do cívky. Jádro je opatřeno tyčinkou (6), která svým pohybem aktivuje mechanismus rozpojení kontaktu (5).

☞ *Pro simulaci činnosti elektromagnetické spouště připojte „nahozený“ jistič přímo ke tvrdému zdroji napětí, který je schopen krátkodobě dodat velký zkratový proud a jehož jištění je „pomalejší“ než vybraný jistič (osvědčené je použití 42 V střídavého výstupu „zeleného“ školního transformátorového zdroje). Rychlé vtáhnutí jádra a „cvaknutí“ vypínacího mechanismu je zakončeno světelným efektem.*

Světelný efekt náleží elektrickému oblouku, který vznikne mezi rozpojovanými kontakty, jimiž teče zkratový proud. Aby elektrický oblouk s jistotou zhasl (dokud totiž hoří, obvodem teče proud, což nechceme), je vytažen do zhášecí komory (9), v níž „nepanují“ vhodné podmínky pro jeho udržení a je zhašen.

Co přesně ale znamenají v předchozím textu použitá vyjádření: příliš velký proud, dlouhodobější proudové zatížení, okamžitý obrovský nárůst proudu? Rovněž by nás mohlo zajímat, za jak dlouho jistič skutečně přeruší průtok proudu nebo jak velký zkratový proud dokáže jistič přerušit. Všechny tyto výrobcem garantované parametry jsou individuální konkrétnímu typu jističe a lze je vyhledat v katalozích. Volba jističe se pak odvíjí od konkrétního použití.

Pro ochranu zásuvkových okruhů se obvykle používá jistič, jehož *jmenovitý proud*  $I_n$  je 16 A. Tato hodnota souvisí s tím, při jak velkém proudu má jistič vybavit. Není to ale jednoduše tak, že proudy větší než 16 A způsobí okamžité vybavení jističe. Chování jističe je složitější a je popsáno *vypínací charakteristikou*<sup>53</sup>, jejíž průběh je na obrázku 4.56. Na vodorovné ose je vynesena proud jističem v násobcích jmenovitého proudu  $I_n$ , na svislé ose je pak vyznačen časový interval, ve kterém dojde k přerušení proudu. Strmě klesající části charakteristiky odpovídá činnost tepelné spouště, navazující svislé a následně téměř vodorovné části odpovídá činnost spouště elektromagnetické. Na zásuvkové okruhy je nejčastěji instalován jistič typu B, u něhož je hraniční trojnásobek jmenovitého proudu.



Obrázek 4.56: Vypínací charakteristiky jističů typu B, C a D

*Ilustrace „čtení“ z vypínací charakteristiky pro 16 A jistič typu B:*

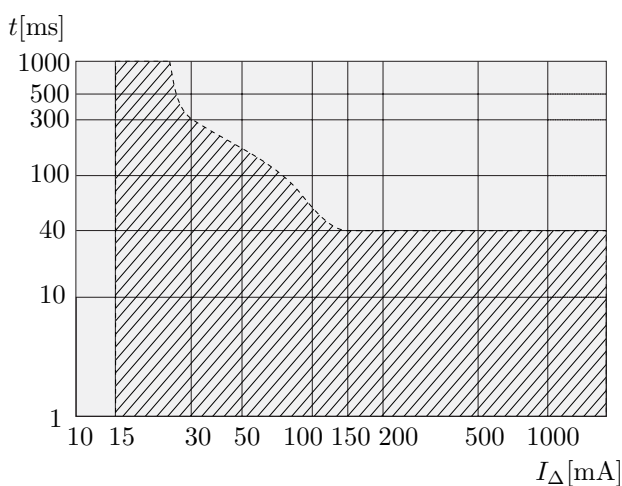
- Vzroste-li proud zásuvkovým okruhem v důsledku zapojení příliš mnoha spotřebičů na hodnotu 32 A, což je dvojnásobek jmenovitého proudu 16 A jističe, jistič obvod rozpojí přibližně za 15 až 100 s.
- Vzroste-li proud zásuvkovým okruhem v důsledku zkratu na hodnotu 96 A, což je šestnásobek jmenovitého proudu 16 A jističe, jistič obvod rozpojí přibližně za 3 až 10 ms.

<sup>53</sup>Překresleno podle [http://www.bqz.sk/download/\\_info/oez\\_prirucka\\_elektrikare\\_web.pdf](http://www.bqz.sk/download/_info/oez_prirucka_elektrikare_web.pdf).

Při spouštění některých spotřebičů vznikají proudové rázy velikostí srovnatelné se zkratovými proudy. Může jít o rozsáhlé žárovkové skupiny, motory nebo transformátory. Při jištění jističem typu B by mohlo docházet k nežádoucím vybavením. V takových případech se instalují jističe typu C nebo D, u nichž dochází k aktivaci elektromagnetické spouště až při vyšších proudech, jak je patrné z jejich charakteristik na obrázku 4.56 na straně 94.

## 4.5.2 Proudový chránič

Pro zvýšení bezpečnosti v síti TN-S lze do cesty pracovních vodičů (fázového vodiče L a středního vodiče N) vřadit *proudový chránič*, viz obrázek 4.58(a) na straně 96. Jde o zařízení, které porovnává proudy tekoucí pracovními vodiči a jestliže vyhodnotí nepřijatelně velký rozdíl těchto proudů, ihned chráněnou část sítě dvoupólově odpojí<sup>54</sup>.



Obrázek 4.57: Vypínací charakteristika proudového chrániče s  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$

### Proč má proudový chránič reagovat na rozdíl proudů?

Jsou-li proudy tekoucí kontrolovanými vodiči různé, tj. chránič registruje *rozdílový proud*  $I_{\Delta}$  jisté velikosti, znamená to, že v síti zapojené na proudový chránič existuje uzel, z něhož teče proud „neoficiální“ cestou mimo proudový chránič. Třeba zemí (při nebezpečném dotyku člověka části s napětím) nebo ochranným vodičem (přes ochranný kolík z kostry porouchaného spotřebiče).

**Jak rychle má chránič vypnout?** Normou<sup>55</sup> je stanoveno, aby proudový chránič pro běžné užití se *jmenovitým rozdílovým proudem*  $I_{\Delta n}$  odpojil obvod s rozdílovým proudem jmenovité hodnoty do 300 ms. Při pětinašobku jmenovitého rozdílového proudu musí být obvod odpojen už do 40 ms.

**Příklad 15.** Pro běžné použití se používá proudový chránič se jmenovitým rozdílovým proudem  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ . Jeho vypínací charakteristika<sup>56</sup> je na obrázku 4.57. Jaký je vypínací čas tohoto chrániče:

- při rozdílovém proudu  $I_{\Delta} = 10 \text{ mA}$ ,
- při rozdílovém proudu  $I_{\Delta} = I_{\Delta n}$ ,
- při rozdílovém proudu  $I_{\Delta} = 500 \text{ mA}$ ?

Vyhovuje tento jistič výše uvedenému požadavku normy?  
Vadí nám skutečnost zjištěná při řešení otázky (a)?

<sup>54</sup>To je rozdíl oproti jističi, který obvod obvykle odepíná pouze jednopólově.

<sup>55</sup>Norma ČSN EN 61008-1.

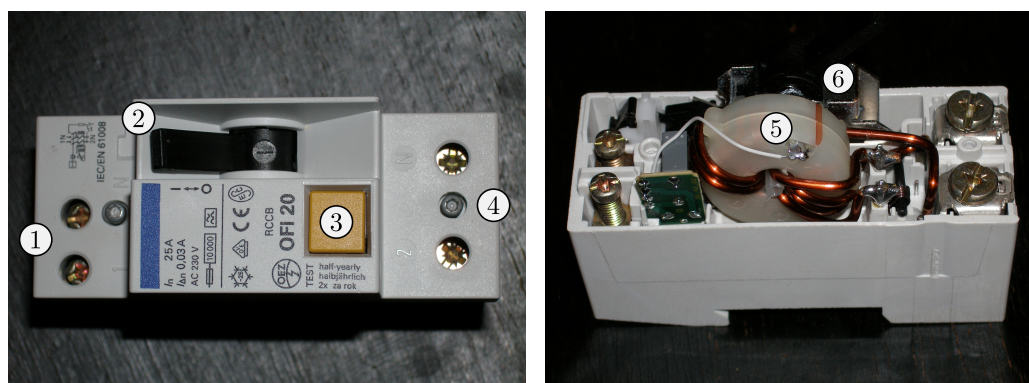
<sup>56</sup>Překresleno podle <http://image.schrack.com/produktkataloge/czkatprodutchan.pdf>.

### Řešení:

- (a) Při rozdílovém proudu 10 mA proudový chránič nevybaví. Pokud by byly proudové chrániče citlivé na příliš malé rozdílové proudy, mohlo by docházet k jejich nechtěnému vybavení běžnými únikovými<sup>57</sup> proudy.
- (b) Při jmenovitém rozdílovém proudu by měl chránič vybavit do 300 ms, což požaduje norma.
- (c) Při rozdílovém proudu 500 mA by měl chránič vybavit už do 40 ms, do tohoto času by měl vybavit i proud 150 mA, což je pětinašobek jmenovitého rozdílového proudu. Proudový chránič z tohoto hlediska vyhovuje normě.

**A jak chránič dokáže porovnávat proudy tekoucí vodiči?** Sledujme obrázek 4.58. Pracovní vodiče jsou přivedeny na *přípojné svorky* (1,4) proudového chrániče. Při jeho vybavení dojde k rozpojení obou pracovních vodičů pomocí *rozepínacího mechanismu* (6). K opětovnému připojení odpojené části sítě slouží *ovládací páčka* (2). Rozepínací mechanismus je aktivován *vybavovacím relé*, kterým začne téci proud. Kde se ten proud „vezme“?

Zatím neokomentovanou součástí chrániče je tzv. *součtový transformátor* (5). Na jeho toroidním jádře jsou navinuty dvě stejné primární cívky, z nichž každá je tvořena třemi závity jednoho z pracovních vodičů. Směr vinutí cívek je volen tak, aby se cívkami vytvářena magnetická pole při nulovém rozdílovém proudu vyrušila (součet byl nulový, odtud název součtový). Sekundární cívkou je cívka s mnohem větším počtem závitů, na obrázku 4.58(b) je vidět pouze jeden její vývod s bílou izolací, která je připojena k vybavovacímu relé. Nejsou-li proudy pracovními vodiči stejné, vzniká v jádře nenulové proměnné magnetické pole a sekundárním obvodem teče indukovaný proud, který při dosažení určité velikosti prostřednictvím vybavovacího relé aktivuje rozepínací mechanismus.



(a) Samostatně

(b) Vnitřní stavba

Obrázek 4.58: Jednofázový proudový chránič s  $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$

*Testovací tlačítko* (3) slouží k pravidelnému ověření správné funkce proudového chrániče. Při stisknutí tlačítka je přes rezistor „uměle“ odvedena část proudu „mimo chránič“, čímž je imitována poruchová nebo nebezpečná situace. Proudový chránič musí vybavit. Fotografie proudového chrániče v plném rozlišení naleznete v *příloze 6*.

<sup>57</sup>Žádný izolant nemá nekonečně velký odpor, izolační schopnost použitých materiálů navíc se stářím spotřebiče klesá.

Zabývali jsme se dvoupólovým proudovým chráničem používaným pro ochranu jednofázové části sítě. Pro ochranu třífázové sítě je nutné instalovat čtyřpólový proudový chránič, jehož toroidní transformátor má čtyři primární cívky. Tento chránič se zapojuje na všechny čtyři pracovní vodiče (3 fázové vodiče  $L_1$ ,  $L_2$  a  $L_3$  a vodič střední  $N$ ). Hlavní princip však zůstává stejný.

**Příklad 16.** *Fungoval by třífázový proudových chránič, pokud bychom ho zapojili namísto jednofázového chrániče? Fázový vodič bychom zapojili na jednu fázovou svorku, zbylé dvě by zůstaly nezapojené.*

**Řešení:** Ano, fungoval. Představené jednofázové zapojení chrániče je ekvivalentní běžné situaci třífázového chrániče, při níž není ze dvou fází v daný okamžik žádný „proudový odběr“.

Zvláště zdůrazněme, že proudový chránič v zapojení, ve kterém se s ním běžně setkáváme, je pouze doplňkovou ochranou. Může uživatele zachránit v situacích, kdy selže nebo je ze své funkce vyřazena nějaká jiná ochrana, např. při nevhodném používání tzv. „dvojlinkové“ prodlužovací šňůry. Dojde-li k poruše spotřebiče, jehož ochrana samočinným odpojením od zdroje je vyřazena zapojením na prodlužovací šňůru bez ochranného vodiče, dojde k jeho odpojení proudovým chráničem až při dotyku obsluhy, zatímco při zachování funkce samočinného odpojení od zdroje by jistič vadný spotřebič odpojil okamžitě, bez potřeby vzniku a průtoku unikajícího proudu člověkem. A nejdůležitější na závěr: **Při dvoupólovém dotyku (propojení fázového a středního vodiče tělem) nás ani proudový chránič nezachrání.** Proudový chránič takovou situaci nerozliší od běžného proudového odběru spotřebiče. Pro něj je vznik této smrtelně nebezpečné situace podobně nevzrušující událostí, jako je rozsvícení žárovky při otevření lednice . . .

# 5. Elektrická rozvodná soustava ve výuce fyziky

Kapitola představí na školách proběhlé dotazníkové šetření, jehož výsledky vedly ke stanovení učebních cílů, pro něž byla vytvořena výuková aktivita zahrnující použití speciálně navrženého a vyrobeného demonstračního modelu rozvodné sítě. Dále se bude zabývat možnostmi použití a zhotovení tohoto demonstračního modelu, jakožto pomůcky pro výuku fyziky. V závěru bude zhodnocena úspěšnost realizovaných učebních aktivit, přínosnost nového demonstračního modelu a budou nastíněny možnosti dalšího rozvíjení elektrotechnické gramotnosti, jejíž obsah je v následujícím textu vymezen.

## 5.1 Dotazníkové šetření

V této části popíšeme, jakým způsobem bylo koncipováno, realizováno a vyhodnoceno dotazníkové šetření, které proběhlo na vzorku celkem 73 studentů základní, střední a vysoké školy. Toto šetření:

1. Sledovalo povědomí studentů o takových součástech elektrické rozvodné sítě, jejichž činnost souvisí s běžnými úkony současného člověka.
2. Testovalo jejich vhléd do hospodaření domácnosti z hlediska kontroly spotřeby elektrické energie a z hlediska technické orientace při řešení lokálních výpadků dodávky elektřiny.
3. Sbíralo zkušenosti vyšetřované generace s nebezpečnými situacemi zahrnujícími potenciální riziko vzniku škod na zdraví nebo majetku.

Z výsledků šetření budou stanoveny cíle, které budou podkladem pro návrh výukové aktivity, jejíž realizace má přinést kvalitativní posun ve zjištěných rezervách *elektrotechnické gramotnosti*, jak budeme zkráceně označovat předmět zkoumání prováděného šetření.

### 5.1.1 Struktura dotazníkového šetření

Dotazník je tvořen osmi otevřenými otázkami<sup>1</sup>, z nichž polovina vyžaduje formulaci určité osobní zkušenosti (otázky 3, 4, 6 a 8), jedna otázka požaduje vysvětlení na začátku provedeného experimentu (otázka 1) a zbylé tři testují znalost konkrétních skutečností (otázky 2, 5 a 7).

Komplexní stavba otevřených otázek a nemožnost ověřit správnost odpovědi u otázek individuálního charakteru omezují možnosti zpracování výsledků šetření. To bude v mnoha případech redukováno na sledování, zda dotazovaný zhruba „tuší“, nebo „netuší“ vůbec. Odpovědi na otázky zjišťující zkušenosti studentů budou inspirující půdou při vytváření učebního textu i návrhu učební aktivity.

Nyní postupně představíme jednotlivé otázky dotazníku v pořadí, ve kterém byly zadány. Provedeme jejich rozbor a uvedeme vazbu k připravované aktivitě.

---

<sup>1</sup>Dotazník v tiskovém formátu je k dispozici jako *příloha 1*.

**Otázka 1.** Při úvodním pokusu se experimentátor připojil jako spotřebič k 4,5 V baterii. Proud mu ale neublížil! Kde je problém?

*Ptáme se na vysvětlení zavádějícím způsobem provedeného experimentu, který proběhl těsně před rozdáním dotazníku s tím, že o něm bylo zakázáno veřejně diskutovat. Experiment, který provedl zadavatel na katedře, je motivován otázkou: „Jaký proud „si vezme“ tato malá žárovka, pokud jí připojíme k ploché 4,5 V baterii?“ Při následujícím experimentu je za odpovídajícího komentáře sestaven obvod se žárovkou, plochou baterií a ampérmetrem. Hodnotu proudu 0,3 A na větším multimetru přečtou i žáci ze zadních lavic. Poté jim zadavatel sdělí: „V lékařských člancích je uváděno, že už proud 30 mA, který teče lidským tělem, je velice nebezpečný. Co kdybych teď žárovku odpojil a zapojil se místo ní!“ Zadavatel odpojí žárovku, mimoděk přitom sklopí stojánek ampérmetru, a připojí se ke zdroji. „Proč mi to nic neudělalo,“ táže se studentů. „Asi tušíme, že někde bude zádrhel. Prosím, napište mi, co si o tom myslíte do dotazníku, který vám právě začínám rozdávat“. Nejlépe hned po zodpovězení otázky je vhodné „problém“ rozřešit, přepnout ampérmetr na citlivější rozsah a reálně tekoucí proud ukázat.*

ZAMĚŘENÍ OTÁZKY: interpretace elektrického proudu a napětí  
kvalitativní aplikace Ohmova zákona

ZAVÁDĚNÉ POJMY: odpor lidského těla  
nebezpečí úrazu elektrickým proudem  
nebezpečné hodnoty proudu

DALŠÍ VAZBY: Navázání na experiment při realizaci aktivity zaměřené na ochranu elektrických sítí: 4,5 V baterie „neprotlačí“ člověkem při jeho poměrně velkém odporu nebezpečně velký proud, zatímco 230 V zásuvka už bez váhání. Potřeba ochrany rozvodné sítě je tudíž opodstatněná.

**Otázka 2.** Často potřebujeme do elektrické sítě (v domácnosti, ve škole) připojit více spotřebičů současně (např. ledničku a troubu). Jak jsou spotřebiče zapojeny – sériově, paralelně či jinak?

*Důležitou dovedností je nakreslit sériově a paralelně řazené rezistory a následně diskutovat v kterém případě je napětí na rezistorech stejné a kdy se na ně rozdělí, podobně pro proudy tekoucí rezistory. Neméně významná je ale i schopnost naopak na základě znalosti napěťových poměrů v obvodu (všechny spotřebiče požadují napětí 230 V) a chování při vypínání spotřebičů (vypnutím lampičky nepřestane hrát rádio) odhadnout strukturu sítě.*

ZAMĚŘENÍ OTÁZKY: sériové a paralelní řazení spotřebičů  
chování spotřebičů v rozvodné síti

ZAVÁDĚNÉ POJMY: způsob zapojení spotřebičů rozvodné sítě  
napěťové a proudové poměry v rozvodné síti

**DALŠÍ VAZBY:** Hbitost v určování typu zapojení (podle kritérií stejného napětí nebo vypnutí více prvků vypnutím jednoho) bude důležitá při zkoumání vzájemného zapojení člověka a spotřebiče, nastane-li porucha spotřebiče nebo na vedení v jeho blízkosti. Ve schématech, tak jak budou kresleny, totiž nebude typ zapojení na první pohled vůbec vidět. Zdůrazněme, že existuje jak porucha, během které je člověk k síťovému napětí připojen paralelně se spotřebičem, stejně jako porucha, při které je k němu spolu se spotřebičem připojen sériově.

**Otázka 3.** Máš nějaké zkušenosti s poruchou el. spotřebičů či el. rozvodů v domácnosti? Co tyto poruchy způsobily? Co bylo třeba k nápravě situace? Jakým způsobem může v souvislosti s elektrickým rozvodem vzniknout požár?

*Otázka sbírající zkušenosti studentů. Z jejich odpovědí lze při realizaci učební aktivity čerpat. Ve spojení s popisem příčin a následků poruch spotřebičů lze očekávat i určité miskoncepce či prostou nevědomost.*

**ZAMĚŘENÍ OTÁZKY:** poruchy spotřebiče  
reakce rozvodné soustavy na poruchu

**ZAVÁDĚNÉ POJMY:** ochrana elektrické sítě  
pojistka a jistič  
selhání ochrany a zkrat

**DALŠÍ VAZBY:** Vzpomínání na události, kdy některý spotřebič „vybuchl“ nebo se z něj „zakouřilo“ či začala hořet jeho přírodní šňůra, má silný emoční náboj. Potřeba chránit síť před nekontrolovaným rozšiřováním těchto hrozeb je díky tomu opět neoddiskutovatelnou záležitostí.

**Otázka 4.** Setkal ses (nebo někdo v okolí) s úrazem elektrickým proudem, resp. tím, že nějaký spotřebič „kopal“? Popiš situaci.

*Otázka opět sbírá zkušenosti studentů. I zde lze očekávat chybná pojmenování, zapříčiněná společností předávanou povrchní znalostí, a to při užívání termínů pojistka, jistič a chránič, které bývají synonymy pro libovolnou „krabici s páčkou“.*

**ZAMĚŘENÍ OTÁZKY:** nebezpečná situace  
reakce rozvodné soustavy na poruchu

**ZAVÁDĚNÉ POJMY:** ochrana elektrické sítě  
ochranné prvky a jejich „necitlivost“  
proudový chránič

**DALŠÍ VAZBY:** Podobně jako u předchozí otázky, studentova emočně silná vzpomínka na úraz elektrickým proudem, ať už z pohledu oběti nebo úrazu přihlízejícího, může citelně stimulovat zapojenost do řešení témat ochrany elektrické sítě.



☞ K tomu se váže jedna „elektrosociální“ bajka: „Mnoho tatínků má v mnoha dlnách mnoho probíjejících spotřebičů a mnoho dcer určitě mnoho láká, že budou mnoho vědět o tom, proč tatínek dostává mnoho ran, a že ho budou moci mnohokrát poučovat, co s tím má jedinkrát udělat, aby se tak mnohokrát nedělo a on pravděpodobně mnohokrát stejně neuposlechne, protože ta jediná oprava stojí mnoho peněz.“

**Otázka 5.** Všimli jsme si, že el. zásuvka nemá kontakty pouze dva, nýbrž tři. Kromě dvou dutinek se nad nimi vypíná jakýsi „kolík“. K čemu tento „kolík“ slouží?

*Otázka má funkci „nahlodávacího červíka“, protože většina populace si žije s připravenou „okřídlenou“ odpovědí, že kolík je tam kvůli zemnění. Optáme-li se, co to znamená, dostane se nám obvykle pouze přehledu podstatného jména uzemnění ve všech pádech. Občas dostaneme i příjemnou odpověď, že je tam z důvodu ochrany.*

ZAMĚŘENÍ OTÁZKY: ochranný kolík

ZAVÁDĚNÉ POJMY: ochrana při nebezpečném dotyku  
ochrana samočinným odpojením od zdroje

DALŠÍ VAZBY: S ochranným kolíkem při budování ochrany sítě není žádný problém. Jeho potřeba se objeví přirozeně při požadavku samostatného třetího kontaktu v zásuvce, který má být vodivě spojen s pravou dutinku zásuvky.

**Otázka 6.** Víš, kde máte doma skříň s pojistkami/jističi a kde je elektroměr?

*Otázka zjišťuje míru zapojení studenta do řešení elektrických „krizových“ situací v domácnosti.*

ZAMĚŘENÍ OTÁZKY: skříň s pojistkami, jističi  
elektroměrná skříň

ZAVÁDĚNÉ POJMY: rozvaděč  
hlavní elektrická přípojka

DALŠÍ VAZBY: Při budování ochrany sítě je klíčovou součástí jistič. Pokud má možnost student během příslušné aktivity vstřebávanou funkci jističe obrazně „skládat“ do té jejich domáčí „pojistkové skříňky“, lze předpokládat, že bude mít tato vědomostní stopa mnohem větší trvanlivost.

**Otázka 7.** Moje představa o funkci a principu: pojistky,  
jističe,  
proudového chrániče.

Zjišťujeme obecné povědomí o funkci klíčových ochranných prvků rozvodné sítě. Opět předpokládáme ztotožnění nebo záměnu obsahů pojmů pojistky a jističe. U proudového chrániče očekáváme nízký počet správných odpovědí. Budeme tak spíše prověřovat, zda je pojem proudového chrániče prázdný, či v horším případě obsahuje špatný obsah.

ZAMĚŘENÍ OTÁZKY: ochranné prvky v síti

ZAVÁDĚNÉ POJMY: pojistka  
jistič  
proudový chránič

DALŠÍ VAZBY: Během výukové aktivity bude snaha ochranné prvky představit zřetelně odlišnými percepčními styly:

- Pojistku studenti poznají *taktilně* (budou ji mít fyzicky v ruce).
- Jistič se jim „představí“ *vizuálně* (elektrickým obloukem při simulaci zkratu).
- Proudový chránič „zapůsobí“ *auditivně* (v rámci příběhu „odehraje“ roli zachránce dítěte strkajícího hřebík do zásuvky).

**Otázka 8.** Je elektrické připojení do vašeho domu či bytu *jednofázové* nebo *třífázové*?

Otázka zjišťuje obeznámení s technickým parametrem připojení domácnosti do místní elektrické sítě. V otázce není záměrně dodatek typu: „a uveď podle čeho si tak poznal“, protože předpokládáme trend, že ti, kteří opravdu vědí, své tvrzení rádi doloží svou dedukcí. Po vyplnění dotazníku je zvláště vhodné prodiskutovat, podle čeho můžeme poznat, že je naše přípojka jednofázová nebo třífázová.

ZAMĚŘENÍ OTÁZKY: elektrická přípojka  
třífázové a jednofázové připojení

ZAVÁDĚNÉ POJMY: třífázové spotřebiče  
třífázový jistič  
fázové vodiče

DALŠÍ VAZBY: Otázka je užitečná tím, že má individuální charakter. Student neodpovídá na otázky požadující unifikované odpovědi, ale on, jako jedinec, si buduje svojí vlastní „odpovědní říši“. Cítí se, jako by se ho spolužák ptal „A jak to máš ty?“ Naproti tomu když neví, může pocítit tlak, že „to je fakt ze života“ a „na wikině to fakt nenajdu“.

### 5.1.2 Realizace dotazníkového šetření

Dotazník byl zadán po provedení úvodního experimentu, který jsme popsali v komentáři první otázky. Během rozdávání dotazníku studenti dostali následující pokyny:

1. Vyplnění dotazníku je zcela anonymní.
2. Není nutné zodpovídat všechny otázky.
3. Pokud neznáte správnou odpověď, neváhejte napsat svou domněnku nebo představu.
4. Čas na vyplnění je 15 minut. Bude-li třeba, čas bude navýšen.

*Tyto pokyny byly navrženy tak, aby nastavovaly důvěrně stimulační prostředí, které podmiňuje maximální kredibilitu šetřením získávaných dat.*

Po dotazníku následovalo rozřešení úvodního experimentu a živá diskuze nad odpovědmi studentů. Na závěr hodiny bylo avizováno, že se tímto tématem budeme podrobněji zabývat v rámci laboratorních prací / dalšího semináře.

#### Charakteristiky testovaného souboru

Celkem bylo otestováno 5 různých skupin v 7 šetřeních. Odevzdáno a zpracováno bylo celkem 73 dotazníků. Viz tabulka 5.1. Rozdělení některých tříd na skupiny souvisí s realizací v rámci dělených laboratorních prací.

Tabulka 5.1: Tabulka představující velikosti testovaných skupin

| Testovaná skupina |            | Počet vzorků |
|-------------------|------------|--------------|
| Kvarta (6-letá)   | 1. skupina | 10           |
|                   | 2. skupina | 14           |
| Sexta (6-letá)    |            | 13           |
| Sexta (8-letá)    | 1. skupina | 10           |
|                   | 2. skupina | 13           |
| Seminář (2+3r.)   |            | 10           |
| KDF MFF (1+2r.)   |            | 3            |
| <b>Celkem</b>     |            | <b>73</b>    |

Upřesnění k testovaným skupinám:

1. **Kvarta (6-letá)**: v rámci výuky (Gymnázium Voděradská, Praha 10).
2. **Sexta (6-letá)**: v rámci výuky (Gymnázium Voděradská, Praha 10).
3. **Sexta (8-letá)**: v rámci výuky (Gymnázium Voděradská, Praha 10).
4. **Seminář (2+3r.)**: v rámci výběrového semináře z fyziky pro 2. a 3. ročníky vyššího gymnázia (Gymnázium Špitálská, Praha 9).
5. **KDF MFF (1+2r.)**: v rámci výběrového předmětu *Fyzika pro nefyziky*. V tomto běhu ho navštívilo 5 studentů z 1. a 2. ročníku bakalářského studia informatiky (KDF MFF UK, V Holešovičkách, Praha 8).

### 5.1.3 Vyhodnocení dotazníkového šetření

Kompletní soubor šetření získaných dat, včetně jejich zpracování, je k nahlédnutí v *příloze 2*. Zde budeme diskutovat obecné odpovědní trendy, souvislost odpovědní úspěšnosti se studijním statutem testované skupiny a vybereme odpovědi se specifickou výpovědní hodnotou.

Pro každou otázku nebo podotázku testu bylo vytvořeno kritérium, podle něhož byly odpovědi označovány buďto za vyhovující nebo nevyhovující. Odpovědi na otázky jsou po řadě považovány za vyhovující, jestliže:

1. Je namítáno, že experimentátor má mnohem větší odpor než žárovka, takže proud člověkem je menší, než proud žárovkou. Případně je argumentováno přímo Ohmovým zákonem.
2. Pokud je uvedeno *paralelně*. Může být uvedena navíc i varianta *jinak* (např. žárovky na vánočním stromku).
3. Jsou představeny okolnosti nějaké poruchy. Uznáváme i zkušenost zprostředkovanou (moje kamarádka/teta).
4. Jsou představeny okolnosti nějakého úrazu elektrickým proudem. Uznáváme i zkušenost zprostředkovanou (moje kamarádka/teta).
5. Vyjádření má pravdivý základ nebo obsahuje praktické pozorování (některé zástrčky mají „protikontakt“). Nepřihlížíme k tomu, že může být patrné, že student neví, o čem mluví (zemnění).
6. Žák se domnívá, že ví, kde se nachází
  - a) skříň s pojistkami/jističi,
  - b) skříň s elektroměrem.
7. V odpovědi převažují pravdivá fakta o použití nebo funkci
  - a) pojistky,
  - b) jističe,
  - c) proudového chrániče.
8. Žák se domnívá, že ví, že jejich připojení je jednofázové nebo třífázové.

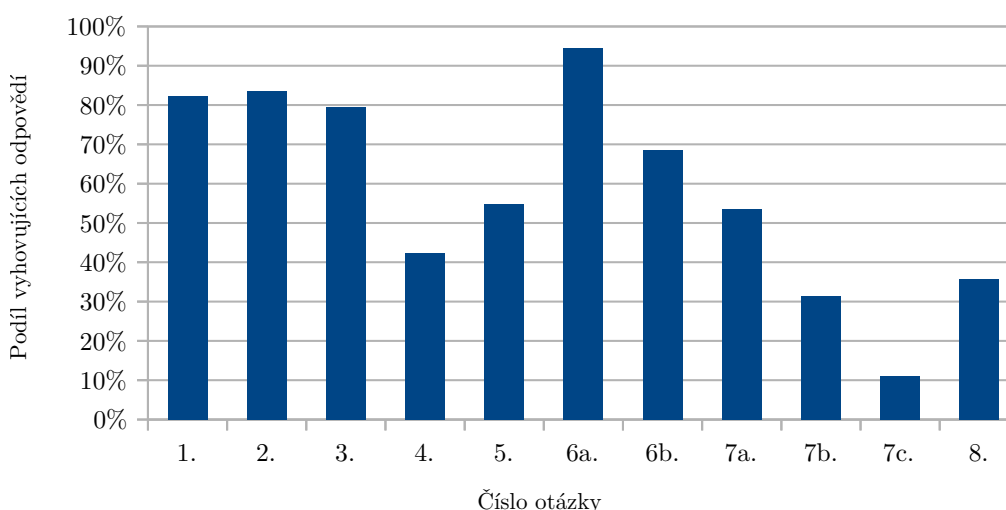
Pro každou otázku byl určen procentuální podíl vyhovujících odpovědí vzhledem k počtu vzorků v jednotlivých zkoumaných skupinách, rovněž i souhrnně vzhledem k rozsahu celého vyšetřovaného souboru. Tato data jsou v tabulce 5.2 na straně 108 a pro další diskuzi jsou vynesena v grafech 1 a 2 na stranách 105 a 106.

## Výsledky šetření

Přehledově shrňme předměty šetření jednotlivých otázek:

1. Aplikace Ohmova zákona na „lidské tělo“.
2. Zapojení spotřebičů je sériové / paralelní.
3. Zkušenosti s poruchou spotřebičů a sítě.
4. Zkušenosti s úrazem elektrickým proudem.
5. Povědomí o existenci ochranného kolíku.
- 6a. Pozice skříně s pojistkami / jističi.
- 6b. Pozici skříně s elektroměrem.
- 7a. Správná představa o funkci pojistky.
- 7b. Správná představa o funkci jističe.
- 7c. Správná představa o funkci proudového chrániče.
8. Připojení do domu je jednofázové / třífázové.

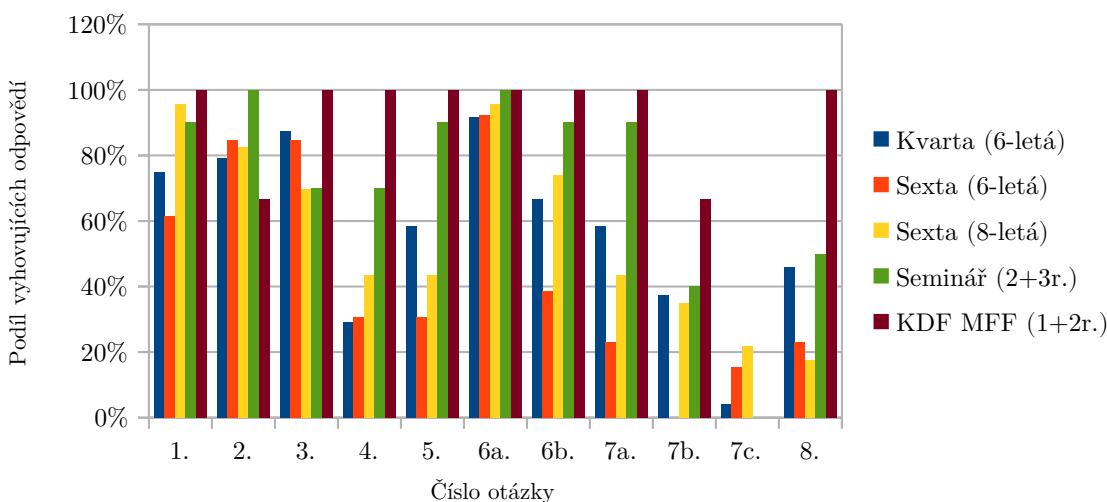
Graf 1: Podíl vyhovujících odpovědí na jednotlivé otázky



- Pouze 18 % studentů nedokázalo zdůvodnit, z jakých důvodů přežil experimentátor své zapojení do obvodu s plochou baterií. Ostatní buď přímo podali správné vysvětlení, či alespoň upozornili na souvislost s Ohmovým zákonem.
- Až 79 % studentů má nějakou zkušenost s poruchou elektrických spotřebičů nebo sítě, zatímco s úrazem elektrickým proudem se setkala pouze 42 % studentů.
- Umístění skříně s pojistkami je známo 95 % studentů, o 27 % méně by jich našlo skřín s elektroměrem.
- Paralelnost zapojení jednotlivých spotřebičů v síti uvedlo 82 % tázaných.
- Alespoň povrchní znalostí o ochranném kolíku je vybaveno 42 % dotazovaných.
- Funkci pojistky zná zhruba *každý druhý*, správnou představu o jističi *každý třetí* a nejhůře je na tom proudový chránič, s jehož funkcí je obeznámen pouze *každý desátý* tázaný.
- Typ připojení do elektrické sítě se odvážilo odhadnout 36 % studentů.

V následujícím *Grafu 2* je opět znázorněno vyhodnocení jednotlivých otázek, tentokrát ale s rozlišením pro jednotlivé vyšetřované skupiny. Skupiny jsou seřazeny podle rostoucího studijního statusu (podle stupně vzdělávání, navštěvovaného ročníku a skutečnosti, zda studují šestileté nebo osmileté gymnázium).

Graf 2: Podíl vyhovujících odpovědí na jednotlivé otázky podle skupin



Celková úspěšnost dané skupiny, určená jako podíl vyhovujících odpovědí a všech odpovědí, nekoreluje se studijním statutem skupiny. Z dat plyne, že nejlepší skupinou byla *KDF MFF* [85 %], následoval *seminář* [72 %], dále *kvarta* [58 %], po ní *sexta (8-letá)* [57 %] a nakonec *sexta (6-letá)* [44 %]. Nutno říci, že reprezentativnost vzorků, zvláště pro skupinu *KDF MFF*, zastupující vysokoškolský status, je nízká. K tomu budeme přihlížet při následujících interpretacích:

1. Úspěšnost skupin výrazně souvisí se způsobem výuky fyziky, nelze proto formulovat obecné závěry. Lepší skóre kvarty oproti šestileté sextě lze přisuzovat její vyšší zvědavosti při výuce, do které vyučující řešení tohoto typu problémů zařazuje. Lepší výsledky osmileté sexty souvisí se schopností obratněji manipulovat s Ohmovým zákonem.
2. Rozložení úspěšností je vyvážené, na odpovědi vysokoškolské skupiny nefyzikálního zaměření může mít vliv vyšší časový odstup od aktivního zabývání se paralelními a sériovými obvody.
3. Zvýšené povědomí o poruchách spotřebičů a jejich řešení mají skupiny s pozdějším nástupem vyššího studijního zatížení (šestileté ročníky), minimum setkání s tímto tématem vykazuje osmiletá sexta a seminář.
4. Zkušenost s úrazem elektrickým proudem je úměrná nabývání životních zkušeností, resp. růstu studijního statusu.
5. Povrchní informace o funkci ochranného kolíku je zvýšeně přítomna ve skupině nejnižšího statusu, dále následuje její vyhasínání (šestiletá sexta), než v průběhu dalšího vzdělávání a životních zkušeností je opět aktualizována (seminář, vysokoškoláci).
- 6a. Povědomí o skříní s jističí je napříč skupinami vysoké. Obecně roste se zvyšujícím se studijním statutem.
- 6b. Povědomí o pozici skříně s elektroměrem je opět úměrné studijnímu statusu, narůstá ale od menších hodnot. Výjimkou je skupina s nejnižším studijním statutem, která vykazuje lokálně větší povědomí, možná kvůli vyššímu zapojení žáků do chodu domácnosti.

- 7a. Podobné rozložení správnosti představ jako u otázky 6b. Odhadované příčiny jsou stejné.
- 7b. Rozložení jako předchozí, s tím, že je celková četnost správné odpovědi přibližně o pětinu nižší.
- 7c. Při omezení na skupiny povinné gymnaziální výuky je málo četná znalost funkce proudového chrániče úměrná studijnímu statusu. Další studijní statusy vykazují krajně minimální znalost.
8. Rozložení ve prospěch okrajových skupin, povahově podobné jako u povědomí o pozici skříně s elektroměrem, celkově ale poloviční četnost vyhovujících odpovědí.

### Odpovědi se specifickou výpovědní hodnotou

Pro každou otázku kromě nejčastějších správných ( $\checkmark$ ) a chybných ( $\perp$ ) odpovědi vybereme ty, které mají specifický charakter:

- ( $\bullet^*$ ) *Obsahují miskoncepce, k jejichž korekcím by měla připravovaná aktivita přispívat.*
- ( $\ominus$ ) *Obsahují prekoncepce, o kterých je vhodné vědět při budování koncepčních nástaveb.*
- ( $\diamond$ ) *Obsahují správné odpovědi, které vybočují „trefným“ způsobem popsání skutečnosti.*
- ( $\Rightarrow$ ) *Obsahují netriviální závěry diskutovaných skutečností.*
- ( $\#$ ) *Mají nestandardní výpovědní hodnotu (encyklopedicky přesná nebo zcela nesouvisející odpověď, další souvislosti).*

Odpovědi dotazovaných nejsou jinak výrazně jazykově upravovány, s výjimkou úpravy interpunkce.

**Otázka 1.** Při úvodním pokusu se experimentátor připojil jako spotřebič k 4,5 V baterii. Proud mu ale neublížil! Kde je problém?

- $\checkmark$  „Tělo a žárovka má různý odpor. Tělo má vyšší odpor – tj. nižší proud.“
- $\perp$  „Možná proto, že stál na zemi a tak svedl proud do země (uzemnil ho).“
- $\bullet^*$  „To je stejná situace, jak když vlaštovky (nebo jiný pták) sedí na elektrickém drátu, teče tam velký proud, ale jim se nic nestane, protože obvod je stále uzavřený.“  
„Proud pouze protékal, „nekončil“ v něm (myslím si to).“
- $\ominus$  „Spotřebič si vezme, kolik potřebuje. Experimentátor si tedy vzal menší proud.“
- $\diamond$  „Myslím, že proud experimentátorem vůbec neprotékal, anebo jím protékal malý proud. Hodnoty na ampérmetru jsem neviděla.“
- $\Rightarrow$  „Moc malé napětí, člověk má velký odpor, takže při 4,5 V jím prochází malý proud, který nestačí, aby mu ublížil “

Tabulka 5.2: Výsledky dotazníkového šetření: podíl vyhovujících odpovědí v jednotlivých testovaných skupinách

| Skupina         | Počet vzorků | 1.         | 2.         | 3.         | 4.         | 5.         | 6a.        | 6b.        | 7a.        | 7b.        | 7c.        | 8.         |
|-----------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Kvarta (6-letá) | 24           | 75%        | 79%        | 88%        | 29%        | 58%        | 92%        | 67%        | 58%        | 38%        | 4%4        | 6%         |
| Sexta (6-letá)  | 13           | 62%        | 85%        | 85%        | 31%        | 31%        | 92%        | 38%        | 23%        | 0%         | 15%        | 23%        |
| Sexta (8-letá)  | 23           | 96%        | 83%        | 70%        | 43%        | 43%        | 96%        | 74%        | 43%        | 35%        | 22%        | 17%        |
| Seminář (2+3r.) | 10           | 90%        | 100%       | 70%        | 70%        | 90%        | 100%       | 90%        | 90%        | 40%        | 0%         | 50%        |
| KDF MFF (1+2r.) | 3            | 100%       | 67%        | 100%       | 100%       | 100%       | 100%       | 100%       | 100%       | 67%        | 0%         | 100%       |
| <b>Celkově</b>  | <b>73</b>    | <b>82%</b> | <b>84%</b> | <b>79%</b> | <b>42%</b> | <b>55%</b> | <b>95%</b> | <b>68%</b> | <b>53%</b> | <b>32%</b> | <b>11%</b> | <b>36%</b> |



**Otázka 2.** Často potřebujeme do elektrické sítě (v domácnosti, ve škole) připojit více spotřebičů současně (např. ledničku a troubu). Jak jsou spotřebiče zapojeny – sériově, paralelně či jinak?

- ✓ „Jsou zapojeny paralelně.“
- ⊥ „Jsou zapojeny sériově.“
- ✧ „Asi paralelně, aby poškození jednoho spotřebiče neovlivnilo i ty ostatní.“  
„Jsou zapojeny paralelně. Kdyby byly sériově, tak by nemohly jet všechny na 100 %.“
- ⇒ „Když se jeden rozbije, ostatní pořád funguje. Na všech je stejně napětí. Takže paralelně.“
- ‡ Tak, aby se tam ty přípojky hlavně vešly.

**Otázka 3.** Máš nějaké zkušenosti s poruchou el. spotřebičů či el. rozvodů v domácnosti? Co tyto poruchy způsobily? Co bylo třeba k nápravě situace? Jakým způsobem může v souvislosti s elektrickým rozvodem vzniknout požár?

- „Třeba když do elektřiny naprší, tak pojistky můžou zkratovat a začne hořet.“
- ☞ „Mám zkušenost jen s tím, že vypadly pojistky, když se naráz zapojilo více spotřebičů.“  
„Občas když někdo rozsvítí, tak praskne žárovka a vyhodí se pojistky v celém okruhu, kde daná žárovka byla.“
- ✧ „Má sestra nechala zapnutý el. sporák. Následně použila mixér, jenže drát omylem položila na plotnu. Došlo k propálení drátu a výpadku pojistek. Bylo potřeba nahodit pojistky a odpojit mixér od sítě.“  
„Bouchnul mi fén, ozvala se rána a pak se z něj začalo kouřit.“  
„Mikrovlnka vyhodila pojistky v bytě, stačilo je znova „nahodit“.“  
„Blesk – jen vypadnutí pojistek, ty jsem sama nahazovala!“  
„Začala nám hořet digestoř.“
- ⇒ „Požár může vzniknout při dlouhodobém zahřívání některé části elektrického rozvodu (slabý vodič, velké proudy, velká zátěž, stočená nechlazená prodlužovačka).“
- ‡ Požár může vzniknout, když vykouří pojistka nebo něco podobného.

**Otázka 4.** Setkal ses (nebo někdo v okolí) s úrazem elektrickým proudem, resp. tím, že nějaký spotřebič „kopal“? Popiš situaci.

- ☞, ✧ „Fén na vlasy a mokré ruce.“, „Dataprojektor – brnění prstů.“  
„Vrtali jsme do stěny a narazili na kabel od alarmu, která byl pod nízkým napětím.“  
„Doma „kope“ zásuvka v garáži, popsat situaci nemůžu, protože to vždy jen prohlásí táta, když se vrátí z garáže“

„Sestra dala do zásuvky kovovou sponku oběma konci, to způsobilo, že vyzkratovala zásuvku (prodlužovák), ve kterém byla zapojená lampička, které praskla žárovka (vyndali jsme všechny spotřebiče z této zásuvky).“

„Kopnula mě zapalovací cívka zážehového motoru, když probíla do mě skrze vodu po mytí.“

„Drát byl zapojený do zásuvky a na druhém jeho konci byli dva oholené dráty, tak jsem jako malý si na ně šáhl a dostal jsem do sebe proud z 230 V zásuvky. Naštěstí jsem dráty hned pustil, trošku to zabrnělo a nic jiného se nestalo.“

„Asi v 5-6 letech jsem do zásuvky strčil měděný nebo hliníkový drátek.“

„Při čištění stěny (pomocí H<sub>2</sub>O) v kuchyni poblíž zásuvky.“

**Otázka 5.** Všimli jsme si, že el. zásuvka nemá kontakty pouze *dva*, nýbrž *tři*. Kromě dvou dutinek se nad nimi vypíná jakýsi „kolík“. K čemu tento „kolík“ slouží?

- ✓ „Slyšel jsem, že k uzemnění, ale moc nevím, proč tam je.“
- „Těžko říct, ale vzhledem k tomu, že některé zástrčky mají přímo otvor pro tento „kolík“, a jiné zase ne (dotýkají se ho vnějším okrajem). Takže myslím, že slouží spíš pro upevnění zástrčky.“  
„Jestli jsem postřehl správně, tak spotřebiče, který nemá moc velký příkon, tak nepotřebují ten kolík.“
- ☞ „Když se něco pokazí ve spotřebiči, proud odtéká přes kolík a ne přes toho, kdo se spotřebičem dotkne.“
- ‡ Myslím, že slouží k tomu, aby se nepřetížil spotřebič, který vyrábí teplo – některé spotřebiče ho nepotřebují.

**Otázka 6.** Víš, kde máte doma skříň s pojistkami/jističi a kde je elektroměr?

Odpovědi nemají žádný specifický charakter.

**Otázka 7a.** Moje představa o funkci a principu: *pojistky*.

- ✓ „Když přijde do obvodu větší proud, vyhoří (ta pojistka)“
- „Pouštění proudu do jednotlivě určených částí“  
„Je možno jimi ovládat určité obvody v domě.“
- ⇒ „Když najednou teče velký proud, který by mohl něco špatného způsobit, ta se tam přetaví drátek, tím pádem se nic nestane.“
- ‡ Nevím, ale když vypadne proud, tak máma ty pojistky vařečkou zvedá nahoru.

**Otázka 7b.** Moje představa o funkci a principu: *jističe*.

- ✓ „Vypadne při velkém proudu“
- ⊥ „Jistí správnou funkci pojistek.“
- ⚡ „Zabraňuje přepětí (v případě pouze vyhodí pojistky).“  
„Při přepětí se přepne a vypne přívod proudu. Je součástí pojistek.“
- ☞ „Chrání před úrazem proudem.“
- # Zafunguje při vysokém napětí, aby neshořel el. produkt, shoří jistič.

**Otázka 7c.** Moje představa o funkci a principu: *proudového chrániče*.

- ✓ „Detekuje rozdíl proudu, co jde tam a zpátky, když se nerovnájí, vypadne.“
- ⊥ „Je z nevodivého materiálu a zabraňuje téct proudu.“
- ⚡ „Chrání, aby netekl moc velký proud.“
- ☞ „To, co se dává do zásuvek kvůli dětem.“
- ✧ „Asi bude chránit, aby se nikomu nic nestalo, když sahá tam, kam nemá.“
- # Poměrování protékajícího proudu mezi nulákem a fází. Při rozdílu  $\pm 10$  až 30 mA shodí síť, ochrana před „tečením mimo“ – bazény koupelny.

**Otázka 8.** Je elektrické připojení do vašeho domu či bytu *jednofázové* nebo *třífázové*?

- ⚡ „Předpokládám, že jednofázový. Domů nám totiž vede 1 velký drát.“
- ☞ „Tipuju, že jednofázové, protože vím, jak vypadají naše zásuvky.“
- ⇒ „Myslím, že třífázové. Byt je dost velký, jednofázové připojení by podle mě nestačilo.“
- # Náš byt je malý, ale dům velký, takže určitě třífázové.

## 5.2 Návrh výukové aktivity

Z výsledků provedeného dotazníkové šetření vyplývá potřeba vytvořit učební aktivitu, jejíž realizace povede ke zvýšení již představené *elektrotechnické gramotnosti* a bude se zabývat těmito tématy: *struktura elektrické rozvodné sítě, ochrana před vznikem škod na majetku a ochrana před úrazem elektrickým proudem, typy rozvodných sítí a jejich ochrany, funkce ochranných prvků v elektrické síti*.

Vezmeme-li v potaz skutečnost, že úspěšnost otázek týkajících se na fakta nebo konkrétní vědomosti nepřekročila ve čtyřech případech z pěti 55 %, nelze žádné z vyjmenovaných témat zcela vyřadit. Kvůli značné provázanosti témat není ani možné provádět nápravy nedostatků samostatně, ale pouze v rámci komplexního představení fungování elektrické rozvodné sítě.

### 5.2.1 Učební cíle pro výukovou aktivitu

1. Žák je schopen popsat strukturu zapojení jednotlivých součástí rozvodné sítě (spotřebiče, pojistky, jističe, proudové chrániče) a diskutuje konfiguraci jejich zapojení (sériové, paralelní) za normálního provozu i během poruchové situace.
2. Žák je schopen posoudit nebezpečnost různých rizikových situací z hlediska bezpečí majetku i ochrany zdraví osob (dotyk jednotlivých vodičů, selhání ochranného prvku, chybná elektroinstalace)
3. Žák porozumí úloze ochranných prvků (pojistka, jistič, proudový chránič) v síti, popíše fyzikální princip jejich funkce a dokáže předvídat reakci příslušného prvku při různých nebezpečných situacích (přetížení, zkrat, nebezpečné napětí na neživé části, únikový proud).
4. Žák popíše funkci ochranného kolíku na pozadí povědomí o strukturách sítí (TN-C, TN-S).
5. Žák ztratí ostych zajímat se o věci elektrické sítě, kterou denně používá. Pravidla pro bezpečnost zacházení s elektřinou budou interiorizována prostřednictvím věrně prováděných nebezpečných situací.

Je zřejmé, že jde o maximální systém učebních cílů. Při reálném použití učební aktivity bude nutné provést jejich redukci podle konkrétní výukové situace.

### 5.2.2 Parametry výukové aktivity

Při konkrétní realizaci výukové aktivity je třeba upravit její strukturu v závislosti na následujících parametrech:

1. Časová dotace – jedna vyučovací hodina, laboratorní práce nebo vyšší.
2. Rozdělení časové dotace – v kuse, s časovou odlukou (potřeba zopakovat a plynule navázat).
3. Ročník a typ studia – základní škola, střední škola, nižší/vyšší gymnázium; odborné/všeobecné zaměření.
4. Návaznost na výuku fyziky – elektřina a magnetismus dosud neprobírána, probrána zatím pouze na ZŠ nebo nižším gymnáziu, v procesu nebo již proběhla zcela.
5. Technické možnosti – je k dispozici zdroj střídavého napětí 24 V a akumulátor, jako tvrdý zdroj napětí.
6. Míra motivace účastníků – povinná výuka, povinně volitelný seminář, výběrový seminář, kroužek, projekt.

Ve splnění výše uvedených cílů v maximální možné míře bude sestavené výukové aktivitě pomáhat speciálně navržený *demonstrační model rozvodné sítě*.

### 5.2.3 Požadavky na nový model

Na *demonstrační model rozvodné sítě*, který se v rámci výukové aktivity zapojí do efektivního plnění stanovených cílů, budeme mít tyto požadavky:

- Demonstrační sada má kompaktními parametry (objem a hmotnost).
- Tento model je didakticky názorný a současně z technického hlediska realistický.
- K vytvoření sady je užito běžně dostupného materiálu a zařízení.
- Model má jednoduchou strukturu, ale je připraven na případná rozšíření.
- Je použito výhradně takový součástek a mechanismů, které vykazují demonstrační spolehlivost.
- Typy ochrany a zapojení sítě musí odpovídat aktuálním technickým normám.
- Při práci s demonstrační sadou nesmí být porušeny žádné bezpečnostní předpisy.

Vzhledem k tomu, že některé požadavky jdou zčásti proti sobě (splnění norem versus didaktická názornost), připustíme, aby se v takovém případě při návrhu a konstrukci demonstračního modelu rozvodné sítě volilo kompromisní řešení.

### 5.2.4 Podoba výukové aktivity

Představená struktura výukové aktivity bude odpovídat téměř maximální variantě s parametry: jedna laboratorní práce v rozsahu dvou vyučovacích hodin s polovinou třídy ( $\approx 15$  žáků), obvyklé spektrum různě motivovaných studentů třídy vyššího gymnázia, ve které již byly probrány potřebná témata elektřiny a magnetismu. Technické možnosti neomezují.

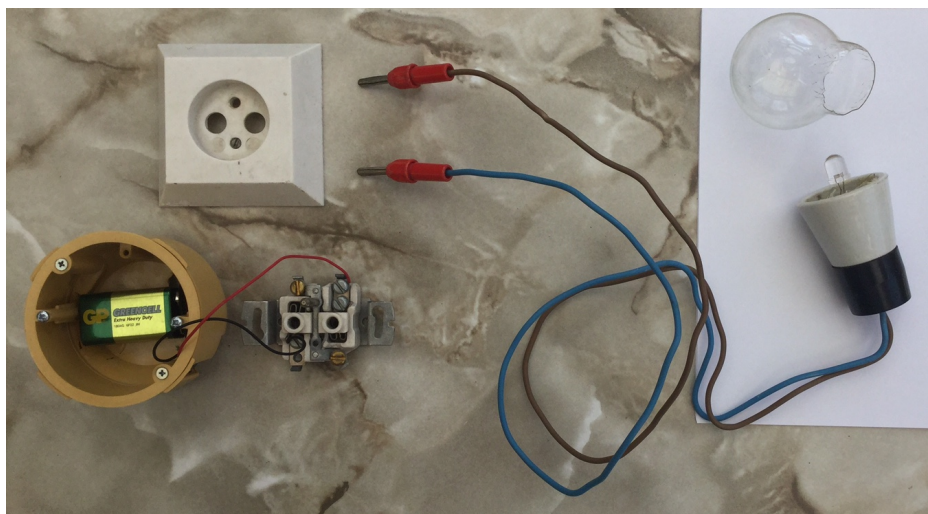
1. Žáky seznámíme s tématem laboratorní práce, kterou lze opatřit výpravným názvem „**Po stopách tajemství elektrické zásuvky**“, připomenutím hlavních témat diskutovaných po odevzdání dotazníku.
  - Navážeme na experiment, v němž byl člověk připojen k 4,5 V baterii. Dojdeme ke skutečnosti, že toto napětí není nebezpečné, zatímco napětí 230 V mezi zdírkami v zásuvce už rozhodně ano. **Potřeba ochrany před nebezpečným dotykem, např. při manipulaci s poškozenými spotřebiči, je neoddiskutovatelná.**
  - Připomeneme otázku z dotazníku týkající se poruch spotřebičů a elektrické sítě, zkratu a požáru. Dojdeme k tomu, že distribuční transformátor dokáže obvodem „protlačit“ opravdu velké proudy. Tuto skutečnost ilustrujeme v menším měřítku na transformátoru laboratorního rozvodu experimentem, při kterém nízkonapěťový výstup v lavici vy-zkratujeme asi dvoumetrovým izolovaným tenkým vodičem<sup>2</sup>. Z izolace se začne viditelně kouřit<sup>3</sup>. **Je zřejmé, že příliš velké proudy mohou poškodit elektroinstalaci nebo dokonce vést ke vzniku požáru.**

---

<sup>2</sup>Nutno předem nastavit takové napětí, aby při použití vodiče daných parametrů nevypínala ochrana zdroje, ale současně bylo generované teplo dostatečné k tavení izolace.

<sup>3</sup>Experiment je nutné ukončit dříve, než se stane množství uvolňovaných plynů nepříjemné.

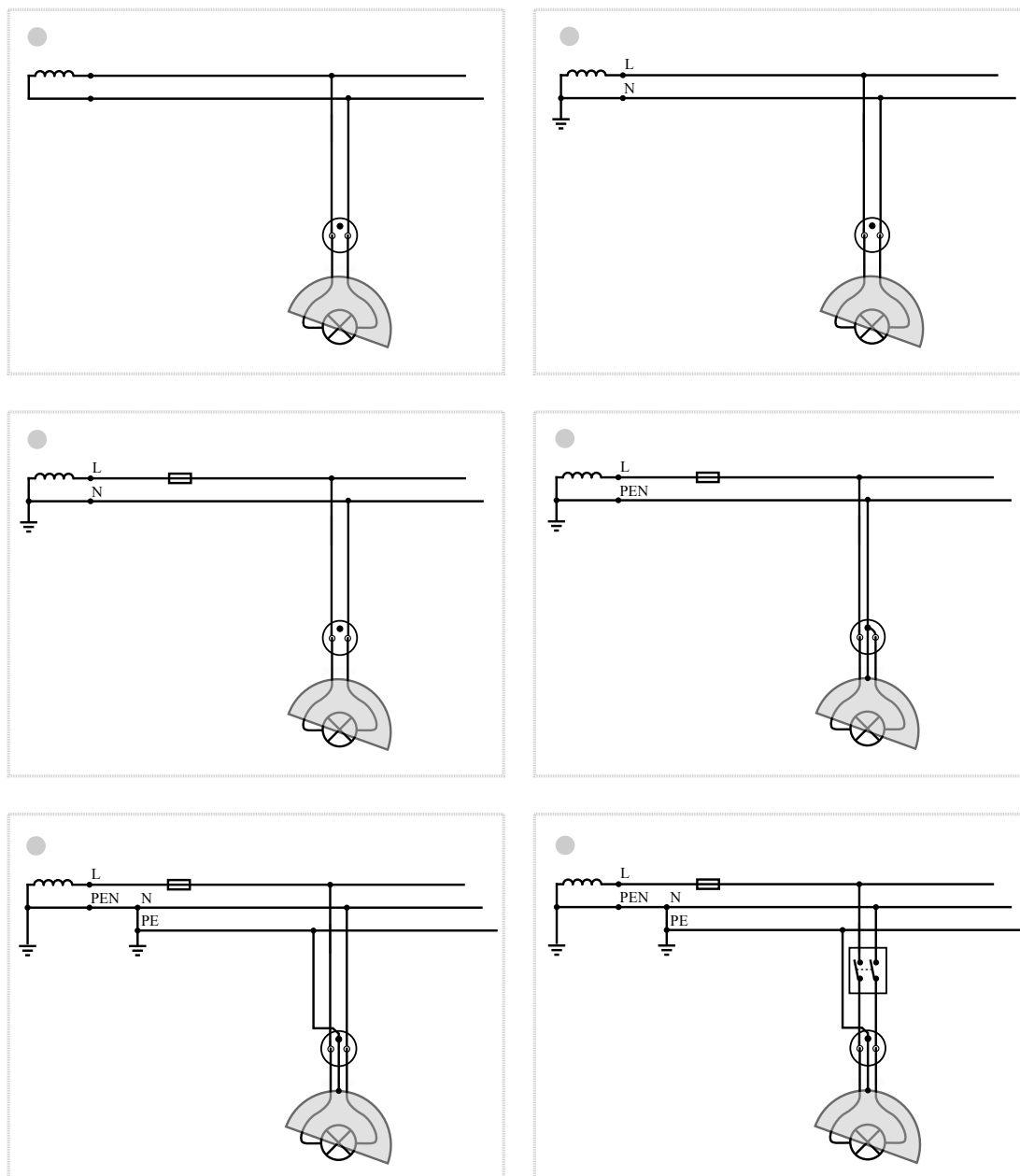
2. „Kolik vodičů je potřeba přivést k žárovce, aby svítila?“ dotážeme se. Žáci nás musí přesvědčit, že opravdu stačí dva, vždyť vlákno žárovky má dva konce. Pro utvrzení tohoto faktu lze vřadit tuto „legráčku“: Viditelně vedenými dvěma vodiči zapojíme speciálně upravenou žárovku, která vznikla vsazením žluté LED diody do žárovkové baňky, do zdírek makety ze zdi vytržené elektrické zásuvky, v níž je umístěna 9 V baterie s odpovídajícím rezistorem. „Takže pro funkci spotřebičů není kolík potřeba,“ uzavřeme experiment po uvedení „podvodu“ se zbytkem elektřiny ve vytržené zásuvce na pravou míru a konstatujeme: „budeme muset zjistit, jak má být ochranný kolík zapojen, aby plnil ochrannou funkci, kterou jste mu přisuzovali v dotazníku.“



Obrázek 5.1: Výroba makety ze zdi vytržené zásuvky a „LED žárovky“

4. Každý žák obdrží „komínek“ náhodně seřazených šesti papírů formátu A5 s předtištěnými schémata, které budou nahrazovat funkci pracovních listů. Proto budeme mluvit o *pracovních kartách*. Obsah těchto karet je na obrázku 5.2 na straně 115. V rozlišení pro tisk je naleznete v *příloze 3*. „Každý jste obdržel 6 karet se schémata, zůstanou vaše, budeme do nich leccos dokreslovat.“ Necháme proznít emoce z prvních zjištění (vždyť jsou ty obrázky stejné, tady jsou navíc písmena, tady je uzemnění). „Máme 6 schémat, jejichž obsah není zcela zřejmý. Jak budeme postupovat? Jasně, seřadíme je. Honzo? Říkáš od nejjednoduššího po nejsložitější?“ Necháme žáky seřazovat. Jakmile se tak stane, společně projdeme seřazená schémata a sledujeme, co na nich přibývá nebo co se na nich mění. Žáci navrhnou, co která značka ve schématu může znamenat a k čemu by to mohlo být, což uvážlivě moderujeme. Je skvělé, když jsou žáci s nějakým faktem poprvé seznámeni nikoli učitelem, ale spontánním sdělením spolužáka („myslím, že ta značka cívký je sekundár transformátoru v ulici“). Jakmile je ujasněno správné pořadí karet, žáci si je očíslojí do kulatých rámečků vlevo nahoře. „**První obrázek je úplně první pokus o dovedení elektřiny ke spotřebiči. Poslední obrázek představuje moderní síť, tak jak ji máme i zde ve škole, se všemi běžně používanými ochranami. Naším úkolem bude dostat se postupným vylepšováním jedničky až k šestce.**“ Žáci si karty uspořádaně složí zpět do „komínku“.

## Přehled pracovních karet



Obrázek 5.2: Přehled *pracovních karet* se schémata pro výukovou aktivitu

- Následuje opakující se procedura vylepšování sítě, jejíž schéma je na právě sledované kartě. Hledají se nedokonalosti zapojení a vymýšlí se jejich řešení, což je zakončeno seznámením se s oficiálními v praxi uplatňovanými postupy. Pro dobré pochopení jednotlivých jevů slouží schémata, v nichž si žáci znázorňují jednotlivé situace (např. kudy teče poruchový proud) a didakticky názorné ukázky na demonstračním modelu rozvodné sítě. Až poté se přejde na kartu s následujícím číslem.

V následujících bodech nastíníme postupování jednotlivými pracovními kartami. V popisu teoretické stránky výukové aktivity budeme úsporní, předpokládáme dobrou znalost skutečností představených v kapitole *Elektrická rozvodná soustava*, která začíná na straně 47.

- i. Na kartě je schéma jednoduchého elektrického obvodu. Toto schéma je ale „natvarované“ tak, aby lépe odpovídalo reálnému vedení vodičů prostřednictvím kabelů ve zdech. Namísto schematické značky střídavého zdroje je použita značka cívky. Ta zastupuje sekundární cívku distribučního transformátoru<sup>4</sup>. Zásuvka nyní plní funkci pouze propojení dvou typů vodičů a její ochranný kolík není nijak zapojen. Konstatujeme, že jeden vodič bývá spojován se zemí (uzemňován) a přejdeme k další kartě.
- ii. Spojením jednoho vodiče se zemí se ztratila „rovnocennost“ vodičů. Uzemněnému vodiči začneme říkat *střední vodič N (Neutral)*. Protože má stejný potenciál jako země (mezi zemí a tímto vodičem není napětí), neměl by být za normálních okolností nebezpečný. Druhému vodiči říkáme *fázový vodič L (Live)*. Tento vodič je velice nebezpečný, jeho napětí vůči zemi je 230 V. Dále žáky navedeme na hlavní nedostatek této sítě. Očekáváme, že žáci zareagují, že: „může dojít ke zkratu a že se tam někde musí dát pojistka“. Souhlasíme, diskutujeme její umístění a pojistku jim ukážeme. Princip pojistky pravděpodobně znají (tavný drátek), současně si ale pod pojistkou představují spíše to s „páčkou“, co nahazují, když vypadne proud. Po uvedení skutečností na pravou míru demonstrujeme chování jističe při přetížení a zkratu, jak jsme popsali v kapitole *Jistič* na straně 93 a 94. Následuje další karta.
- iii. Tato síť již obsahuje pojistku nebo jistič. Je chráněna při přetížení nebo zkratu. To ukážeme na modelu – necháme někoho vyzkratovat modelovou zásuvku. Měl by vybavit jistič, ne se začít tavit izolace vodiče, jako v úvodním experimentu. Majetek je ochráněn. Co ale člověk? Ve schématu naznačíme uzel v místě průchodu fázového vodiče stínítkem a řešíme situaci takto porouchaného spotřebiče. Důsledky závady pro člověka manipulujícího se spotřebičem demonstrujeme na modelu. Diskutujeme, proč nevybaví jistič. Necháme vymýšlet řešení s tímto očekávaným závěrem: **Chceme, aby poruchový proud dosáhl zkratové velikosti, aby zareagoval jistič.** Po chvíli uvažování dospějeme k závěru, že **pro dosažení zkratového proudu obvodem v případě dotyku fázového vodiče kovové části spotřebiče postačí, aby toto stínítko bylo propojeno se středním vodičem.** Ten je již zapojen na pravou dutinku v zásuvce, takže ochranný vodič vedeme jako součást přívodní šňůry do zásuvky na ochranný kolík, který uvnitř zásuvky propojíme s pravou dutinkou. Funkci takto zkonstruované ochrany samočinným odpojením od zdroje demonstrujeme na modelu (porouchaný spotřebič „shodí“ jistič hned při zapojování do zásuvky) a přejdeme na další kartu.

---

<sup>4</sup>V této fázi výukové aktivity je možné představit cestu elektřiny z distribučního transformátoru do bytového rozvaděče a diskutovat jednofázové / třífázové připojení.



- iv. Tato síť se označuje jako TN-C. Vysvětlíme význam písmena C v názvu sítě se zdůvodněním přejmenování vodiče N na vodič PEN. Necháme žáky nakreslit, co se stane, když se přeruší vodič PEN v zásuvce a člověk se bude dotýkat stínítka bezvadného spotřebiče. Při demonstraci je vhodné zásuvku s přerušeným vodičem PEN otevřít a přerušovaný vodič na chvíli „opravit“. Vyšroubováním žárovky získáme odpověď na otázku, zda je člověk se spotřebičem zapojen paralelně nebo sériově. Diskutujeme nečinnost jističe. Necháme žáky nakreslit zásuvku vedle zásuvky stávající a z téže zásuvky ji vodiči „zapojit“. Můžeme pak vyprávět pohádku *O paní Šťastné*, viz strana 74, za současné demonstrace na modelu. Situaci dobře pochopíme zakreslením do schématu. Přejdeme na předposlední kartu.
  - v. Diskutujeme možná řešení problémů hliníkových sítí. Místo rozdělení vodiče PEN na ochranný a střední vodič myšlenkově přesuneme na začátek schématu, který představuje bytový rozvaděč. Okomentujeme uzemnění místa rozdělení a třívodičové kabely. Podobu instalace takto zapojené sítě ukážeme na modelu a zmíníme, že jde o síť TN-S (význam písmena S vysvětlíme). Můžeme ukázat, že tato síť disponuje všemi ochranami sítě TN-C, navíc je ale minimalizováno riziko problému přerušení vodiče PEN. Pomocí demonstračního modelu začneme připojovat panáčka do modelu elektrické zásuvky nebo ho necháme dotýkat se porouchaného spotřebiče zapojeného přes „dvojlinkovou“ prodlužovací šňůru do zásuvky. Dojdeme k potřebě zařízení, které porovnává proud tekoucí pracovními vodiči a v případě úniku proudu odpojí příslušnou část sítě od zdroje. Zakreslíme toto zařízení do schématu jako obdélník se dvěma spřaženými vypínači. Jde o *proudový chránič*. Tím přejdeme k poslední kartě.
  - vi. Provedeme důrazné varování, že všechno to, co jsme dělali, bylo možné jenom proto, že model napájíme bezpečným napětím 24 V. Nikdy nesmíme provádět žádné „teoreticky bezpečné“ věci se síťovým napětím 230 V. Nikdy nevíme, jestli je síť zapojena správně nebo v důsledku poruchy je něco jinak, než předpokládáme! Necháme žáky vymyslet, zda by nás proudový chránič zachránil při dvoupólovém připojení do zásuvky. Na modelu demonstrujeme.
6. Výukovou aktivitu zakončíme prostorem pro dotazy a diskuzi. Na závěr provedeme reflexi výukové aktivity<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup>Při realizacích pro potřeby diplomové práce žáci provedou reflexi písemně pro možnost následného zpracování.

## 5.3 Demonstrační model rozvodné sítě

Tato část je věnována představení součástí a možností demonstračního modelu rozvodné sítě, který vznikl v rámci této diplomové práce. Při návrhu a výrobě modelu bylo dbáno na splnění požadavků na straně 113, které byly formulovány na základě výsledků šetření elektrotechnické gramotnosti. Dále bylo přihlédnuto ke zkušenostem se starším modelem rozvodné sítě, které ve velké míře ovlivnily podobu nově vytvořeného modelu.

### 5.3.1 Předloha nového modelu rozvodné sítě



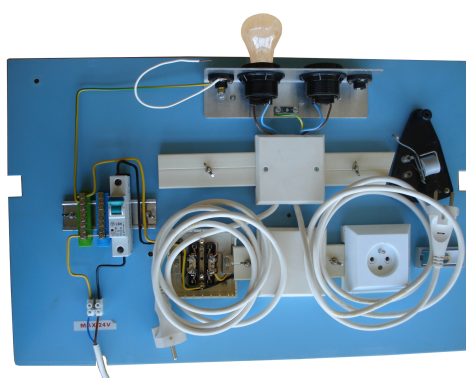
Obrázek 5.3: Původní souprava a TN-S s chráničem, z nichž první a poslední je zachycena na obrázku 5.4.

Původní *Elektromontážní soupravy*, (Komenium, 1984), které jsou stále součástí vybavení některých škol, lze pro možnosti demonstrace ochrany elektrických sítí snadno přizpůsobit. Úprava spočívá především v nahrazení pojistky jističem, dále v adaptaci soupravy pro síť typu TN-S a v instalaci proudového chrániče. Pro možnost demonstrace kompletního vývoje sítí je vhodné vytvořit celkem tři sady: pro síť TN-C, TN-S

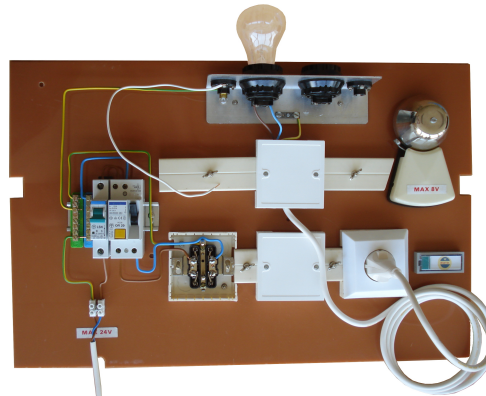
BYLO: žákovská montážní souprava  
víceúčelová koncepce  
více variant sad  
pevné spotřebiče  
jen technická vrstva  
propojení prvků vodiči  
fixní uspořádání

BUDE: demonstrační sada  
zaměřená na ochranu sítí  
vše v jednom  
odjímatelné a mobilní spotřebiče  
vysoká autentičnost  
naznačení propojení kabely  
možnost dynamické demonstrace

NOVĚ: naznačení připojení k třífázovému rozvodu, fyzická zem a její zapojení, kontrolní žárovka, vstupní napájecí konektory, detekční panáček a možnost vytváření dalších modulů



(a) Varianta pro síť TN-C

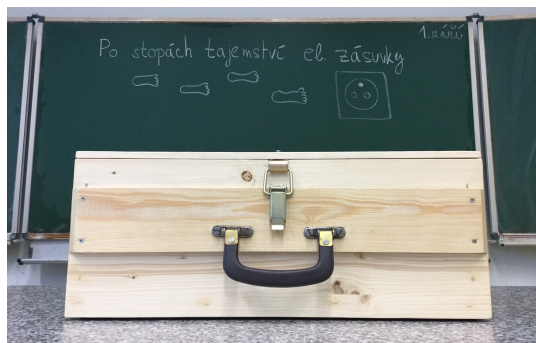


(b) Varianta pro síť TN-S s chráničem

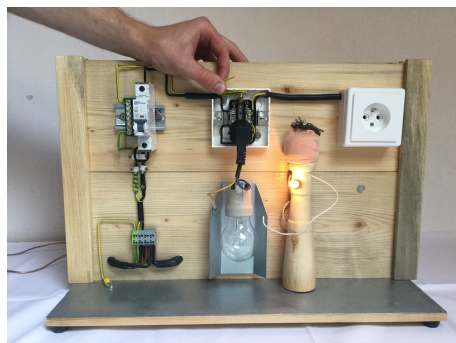
Obrázek 5.4: Soupravy předcházející *demonstračnímu modelu rozvodné sítě*

### 5.3.2 Nový demonstrační model rozvodné sítě

Vzniklý *demonstrační model rozvodné sítě* je tvořen modulárními panely a sadou příslušenství. Vše je bezpečně a skladně uloženo v přenosném a odolném kufříku.



(a) Kufř obsahující všechny součásti modelu



(b) Model při demonstraci

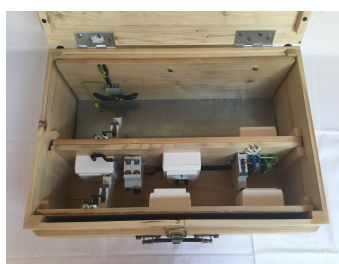
Obrázek 5.5: Nový demonstrační model rozvodné sítě v kufříku a v provozu

HMOTNOST: brutto 10,6 kg, netto 6,1 kg  
 ROZMĚRY: 220 mm × 400 mm × 530 mm  
 NAPÁJECÍ NAPĚTÍ: ~ 24 V  
 MIN/MAX PŘÍKON: 3/183 W  
 JIŠTĚNÍ ZDROJE: ≥ 8 A

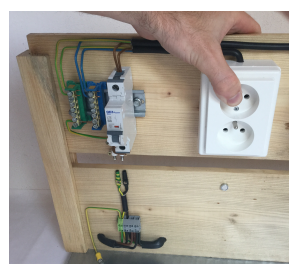
SADA OBSAHUJE:  
 1 základový modul  
 3 zásuvné moduly  
 4 spotřebiče  
 příslušenství



(a) Odolný kufř



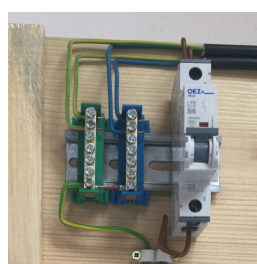
(b) Skladné uložení



(c) Modulární systém



(d) Elegance



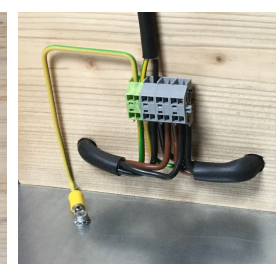
(e) Přehlednost



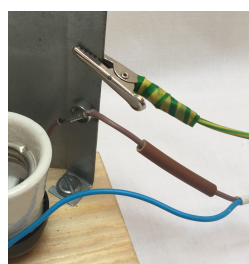
(f) Úrazová figurka



(g) 60 W žárovky



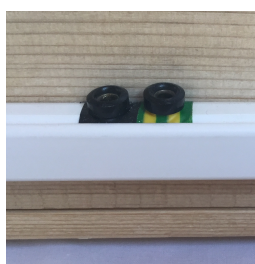
(h) Země a uzemnění



(i) Simulace závad



(j) Ukázky z praxe



(k) Rychlé připojení



(l) Kontrolní žárovka

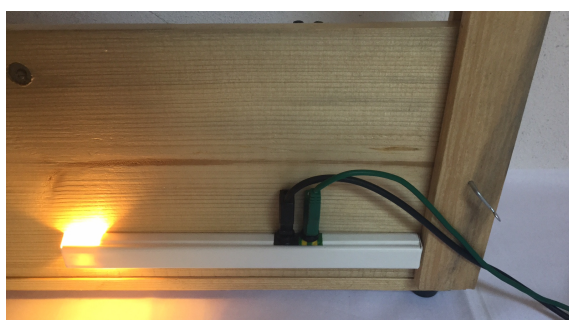
### 5.3.3 Součásti demonstračního modelu

#### Základový modul

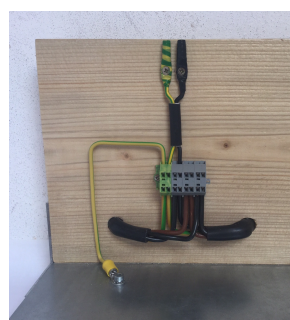
Nezbytnou součástí všech demonstračních konfigurací je *základový modul*, viz obrázek 5.6(m). Na jeho zadní části se nachází lišta s konektory pro připojení modelu ke zdroji a žárovka signalizující přítomnost napájecího napětí 5.6(n). Vodiče dále směřují přes svorkovnici ke konektorovému doku sloužícímu k napájení zásuvných modulů 5.6(o). Před použitím zásuvných modulů se základový modul opatří bočními vodícími lištami 5.6(p). Jejich pevné spojení se základovým modulem zajišťují obrtlíky.



(m) Základový modul s napájecím dokem a magnetickými držáky spotřebičů



(n) Přípojná a kontrolní lišta na zadní straně



(o) Napájecí svorkovnice



(p) Lišta

Obrázek 5.6: Základový modul s odjímatelnými lištami pro zásuvné moduly

#### Zásuvné moduly

Zásuvné moduly se vsazují do vodících lišt ukotvených v základovém modulu. Předpružený mechanismus magnetických kontaktů automaticky zajistí spolehlivé připojení modulu do napájecího doku. Sada obsahuje tyto moduly:

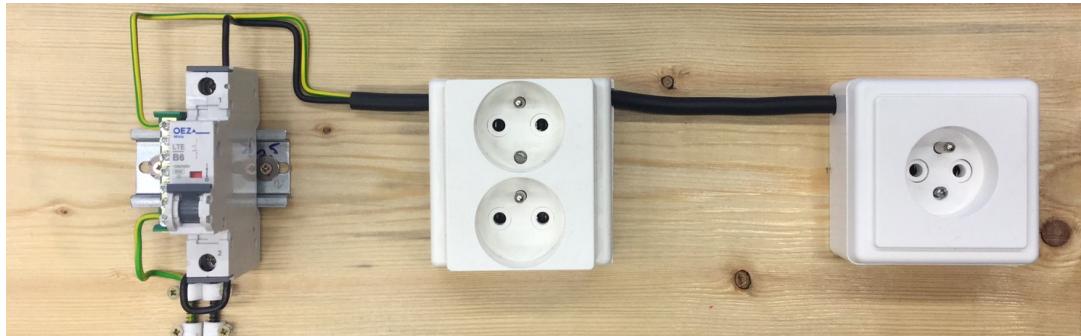
**Modul M1 (TN-C):** Modul obsahující jednu zásuvku chráněnou jističem. Zapojení zásuvky je připraveno pro vybudování sítě TN-C. Viz 5.7(a) na straně 121.

**Modul M2 (TN-C AI):** Modul sítě TN-C se dvěma zásuvkami chráněnými jističem. V první zásuvce je přerušen vodič PEN pro demonstraci problémů hliníkových rozvodů. Viz 5.7(b) na straně 121.

**Modul M3 (TN-S RCD):** Modul sítě TN-S se dvěma zásuvkami chráněnými jističem. Druhá zásuvka je zapojená přes proudový chránič. Viz 5.7(c) na straně 121.



(a) Modul M1: Zapojení zásuvky je připraveno pro demonstraci sítě TN-C

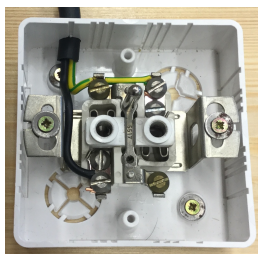


(b) Modul M2: Sít TN-C uzpůsobená k demonstraci problémů hliníkových rozvodů

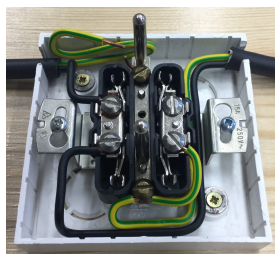


(c) Modul M3: Sít TN-S s možností demonstrace výhod proudového chrániče

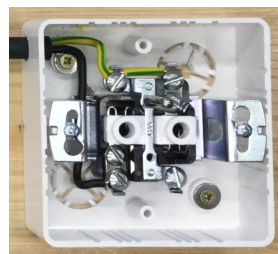
Obrázek 5.7: Přehled zásuvných modulů a jejich demonstračních možností



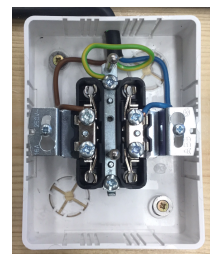
(a) Zásuvka M1



(b) 1. zásuvka M2



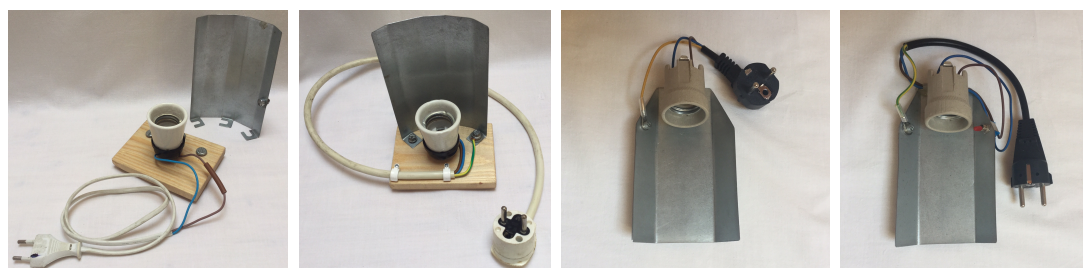
(c) 2. zásuvka M2



(d) Zásuvky M3

Obrázek 5.8: Detail zapojení zásuvek na zásuvných modulech

## Spotřebiče a příslušenství



(a) Spotřebič S1

(b) Spotřebič S2

(c) Spotřebič S3

(d) Spotřebič S4



(e) 24 V žárovky 60 W



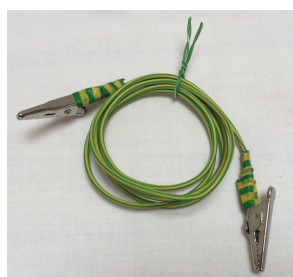
(f) „Hřebíčky“



(g) Testovací panáček



(h) Šroubováky



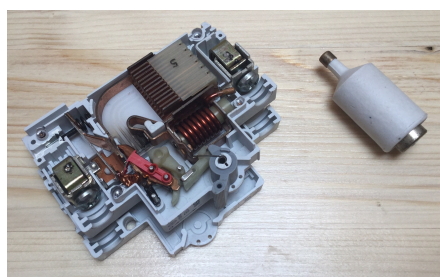
(i) Ochranný vodič



(j) Pomocný vodič



(k) „Dvojlinka“



(l) Jistič a pojistka

Obrázek 5.9: Spotřebiče a příslušenství v sadě demonstračního modelu

**Spotřebič S1** je model uzpůsobený simulaci poruchy spotřebiče. Odhalení planžety fázového vodiče umožňuje jeho přichycení k magnetu, který je umístěn na kovové části spotřebiče. Kovová část je odjímatelná. Není-li přítomna, spotřebič představuje zařízení třídy ochrany II. **Spotřebič S2** je již zapojen tak, aby byl modelem zařízení třídy ochrany I. Zařízeními náležícími do stejné třídy je i **spotřebič S3** a **spotřebič S4**. Tyto spotřebiče se umísťují na magnetické držáky základového modulu, druhý z nich obsahuje navíc dvoupólový vypínač.

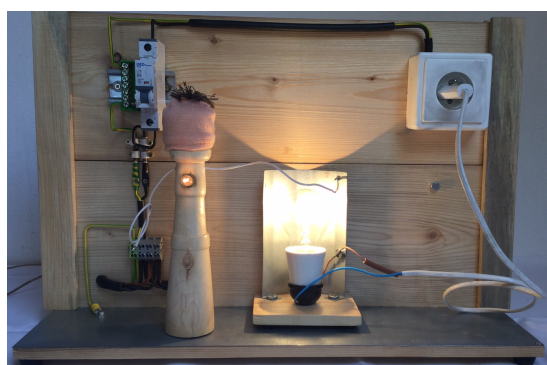
### 5.3.4 Příklady experimentů s demonstračním modelem

Následuje několik příkladů demonstračních experimentů s novým modelem. Provedení nebude podrobně popisováno, vyplývá z předchozí teorie a z obrázků.

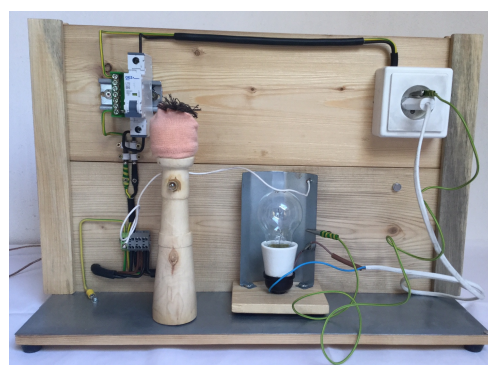
*Poznámka: pro testování nebezpečnosti dotyků je určena panáčková levá ruka.*

#### EXP 1.: Princip ochrany samočinným odpojením od zdroje (sít TN-C)

SPOTŘEBIČE: S1  
PŘÍSLUŠENSTVÍ: testovací panáček, ochranný vodič  
POZNÁMKA: ukázat vnitřní zapojení zásuvky  
POZOR: černě označený kontakt dvoupólové vidlice musí být připojen na fázi



(a) Nebezpečná situace

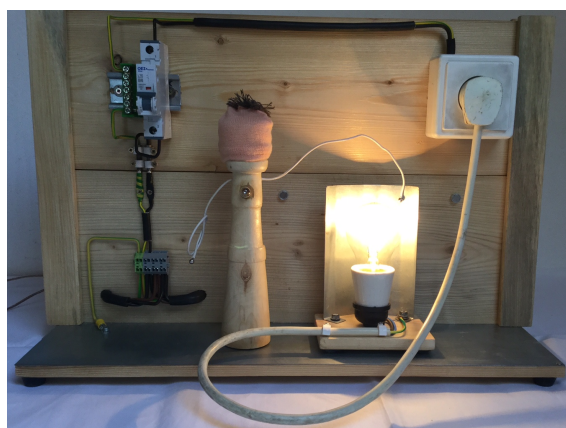


(b) Odpojení spotřebiče jističem

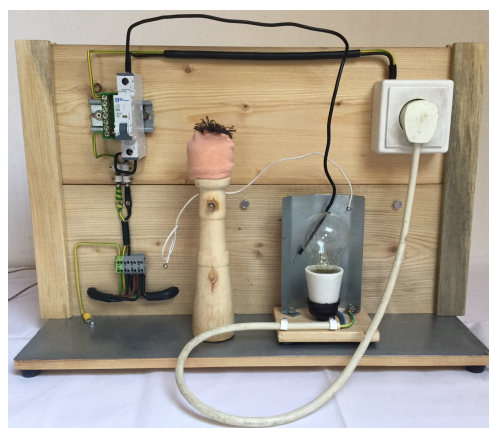
Obrázek 5.10: Dotyk kovové části dvoupólově zapojeného porouchaného spotřebiče

#### EXP 2.: Zareagování ochrany při napětí na neživé části (sít TN-C)

SPOTŘEBIČE: S2  
PŘÍSLUŠENSTVÍ: testovací panáček, pomocný vodič  
POZNÁMKA: ukázat přívodní šňůru a její zapojení  
POZOR: „nezkratovat“ přední část stínítka (poškozuje se)



(a) Spotřebič bez poruchy

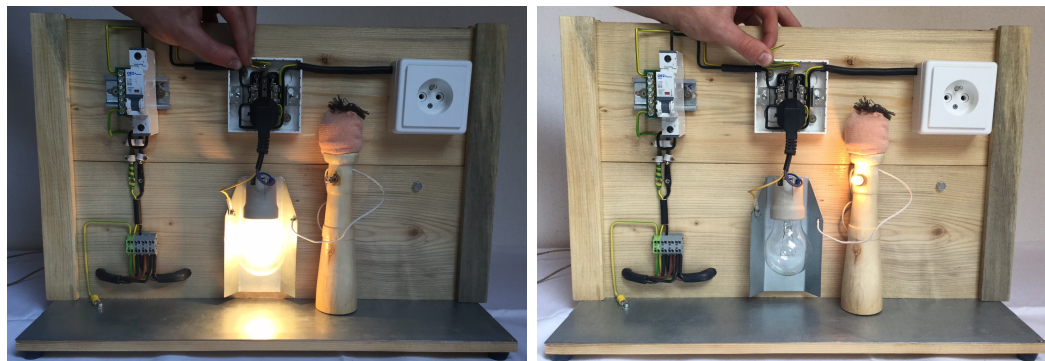


(b) Po „zavlečení“ nebezpečného napětí

Obrázek 5.11: Vybavení jističe při nebezpečném napětí na neživé části

### EXP 3.: Demonstrace problémů hliníkových rozvodů I. (sít' TN-C)

SPOTŘEBIČE: S3 ZÁSUVNÝ MODUL: M2  
PŘÍSLUŠENSTVÍ: testovací panáček  
POZNÁMKA: ukázat místo přerušení vodiče PEN  
POZOR: nezapomenout zdůraznit, že spotřebič je bez poruchy



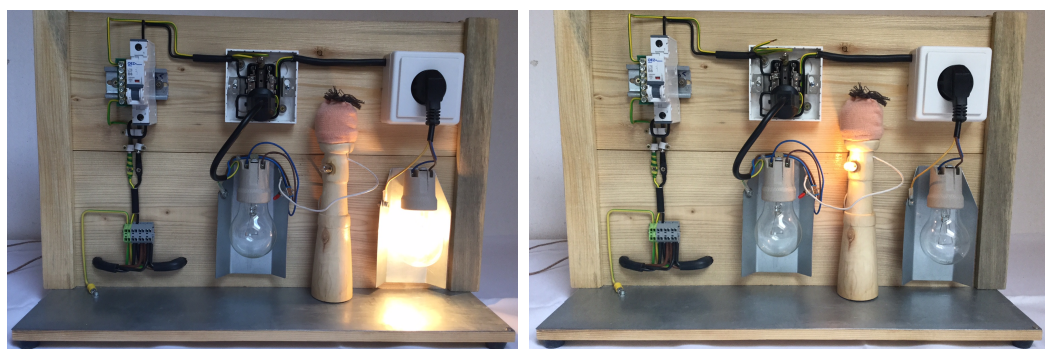
(a) PEN vodič v pořádku

(b) Přerušený PEN vodič

Obrázek 5.12: Nebezpečný bezvadný spotřebič při porušení vodiče PEN

### EXP 4.: Demonstrace problémů hliníkových rozvodů II. (sít' TN-C)

SPOTŘEBIČE: S3, S4 ZÁSUVNÝ MODUL: M2  
PŘÍSLUŠENSTVÍ: testovací panáček  
POZNÁMKA: vhodné najít cestu „proudu“ ve schématu  
POZOR: předem ověřit vypnutí vypínače



(a) PEN vodič v pořádku

(b) Přerušený PEN vodič

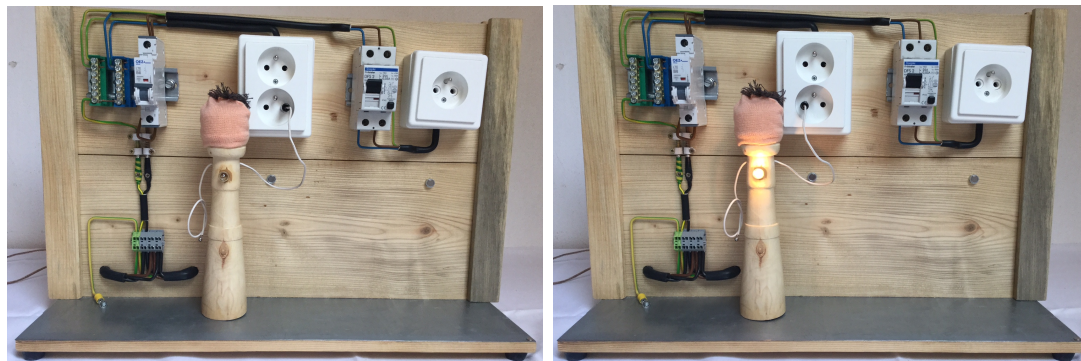
Obrázek 5.13: Nebezpečný **vypnutý** bezvadný spotřebič při porušení vodiče PEN

*Poznámka: Mnohem větší demonstrační působivost lze dosáhnout, promění-li se na okamžik demonstrační sada v loutkové divadlo. Po prostudování technické linie dramatu „O výměně žárovky paní Šťastné“ na straně 74 sehrajeme odpovídající scény. Dějišti pokoje s postelí přísluší pravá zásuvka, situaci v koupelně zásuvka vlevo.*



## EXP 5.: Nebezpečnost jednopólových dotyků (sít' TN-S)

|                |  |                   |
|----------------|--|-------------------|
| SPOTŘEBIČE:    | žádný                                      | ZÁSUVNÝ MODUL: M3 |
| PŘÍSLUŠENSTVÍ: | testovací panáček s „hřebíky“ v rukách     |                   |
| POZNÁMKA:      | diskutovat dotyk ochranného kolíku         |                   |
| POZOR:         | varovat i před „bezpečnou“ zdířkou zásuvky |                   |



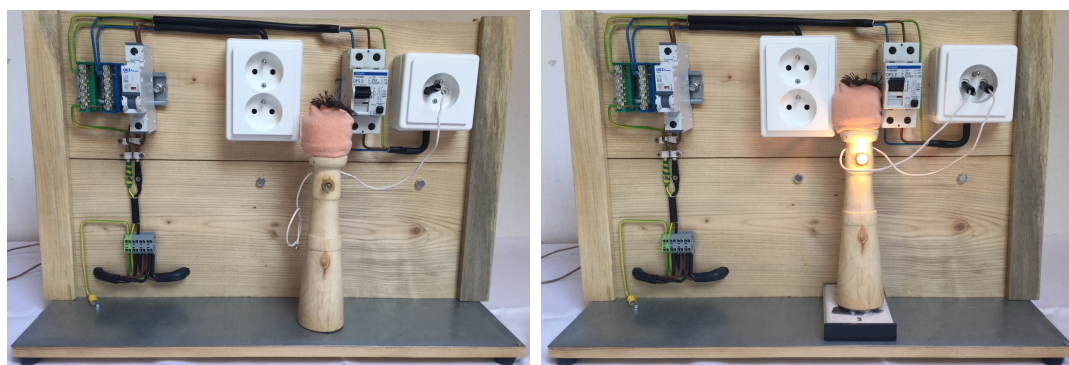
(a) Dotyk středního vodiče N

(b) Dotyk fázového vodiče L

Obrázek 5.14: Jednopólové dotyky v síti TN-S s fází zapojenou v levé zdířce

## EXP 6.: Nebezpečné dotyky v síti TN-S s proudovým chráničem

|                |  |                   |
|----------------|--|-------------------|
| SPOTŘEBIČE:    | žádný                                  | ZÁSUVNÝ MODUL: M3 |
| PŘÍSLUŠENSTVÍ: | testovací panáček s „hřebíky“ v rukách |                   |
| POZNÁMKA:      | diskutovat spojení panáčka se zemí     |                   |
| POZOR:         | izolovat panáčka od země               |                   |



(a) Odpojení jednopólového dotyku

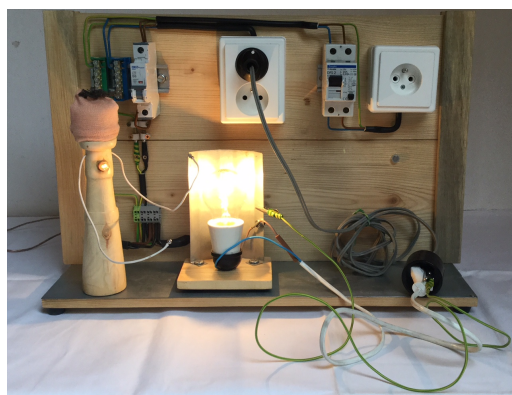
(b) Při dvoupólovém dotyku nereaguje

Obrázek 5.15: Prověřování funkce chrániče při jednopólovém a dvoupólovém dotyku

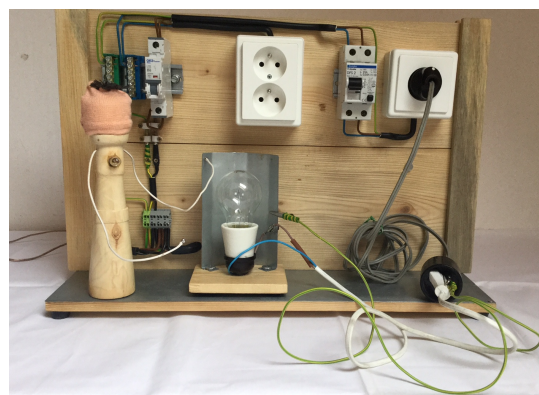
*Poznámka: Pokud zapomeneme izolovat panáčka od země, dojde při dvoupólovém dotyku k vybavení jističe, což je nepříjemný důsledek způsobu zapojení „rukou“ panáčka. Reálně by k vybavení jističe nedošlo.*

## EXP 7.: Vyřazení ochrany použitím „dvojlinkové“ prodlužovací šňůry

SPOTŘEBIČE S1 ZÁSUVNÝ MODUL: M3  
PŘÍSLUŠENSTVÍ: testovací panáček, ochranný vodič, „dvojlinka“  
POZOR: zdůraznit, že proudový chránič je pouze doplňkovou ochranou



(a) Jistič nereaguje



(b) Chránič při dotyku zareagoval

Obrázek 5.16: Vyřazení ochrany samočinným odpojením od zdroje použitím prodlužovací šňůry bez ochranného vodiče

### 5.3.5 Vznik prvního exempláře v devíti krocích



(a) Kácení



(b) Klížení



(c) Řezání



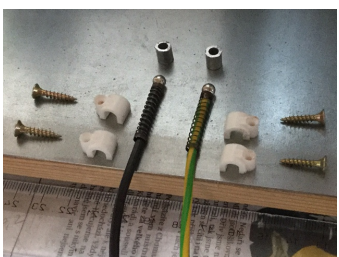
(d) Montování



(e) Lepení



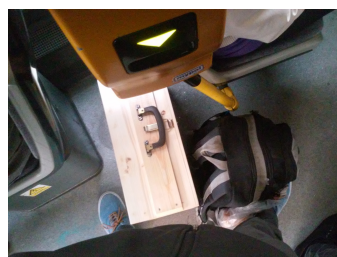
(f) Pájení



(g) Kompletování



(h) Ožívování



(i) Testování

Obrázek 5.17: Vznik demonstračního modelu rozvodné sítě v devíti krocích

## 5.4 Odezvy výukové aktivity

### 5.4.1 Provedené realizace

Výuková aktivita zaměřená na zvýšení elektrotechnické gramotnosti proběhla ve všech skupinách, ve kterých bylo provedeno dotazníkové šetření. Konkrétně:

1. **Kvarta (6-letá), Gymnázium Voděradská, Praha:** v rámci výuky s dotací dvou vyučovacích hodin.
2. **Sexta (6-letá), Gymnázium Voděradská, Praha:** v rámci výuky, s dotací jedné laboratorní práce (1,5 h).
3. **Sexta (8-letá), Gymnázium Voděradská, Praha:** v rámci výuky, s dotací jedné laboratorní práce (1,5 h).
4. **Seminář (2+3r.), Gymnázium Špitálská, Praha:** v rámci výběrového semináře z fyziky pro 2. a 3. ročníky vyššího gymnázia, s dotací dvou seminářů (vždy 1,5 h).
5. **Fyzika pro nefyziky, KDF MFF, Praha:** v rámci výběrového předmětu, s dotací jednoho semináře 1,5 h.



Obrázek 5.18: Realizace výukové aktivity *Po stopách tajemství elektrické zásuvky* s novým demonstračním modelem v sextě na gymnáziu Voděradská

Na konci výukové aktivity byli žáci vedeni k její písemné reflexi za pomoci předložených otázek:

1. Nejvíce mě překvapilo: ...
2. Zaujalo mě a nevěděl(a) jsme: ...
3. Chci / budu si pamatovat: ...
4. Myslel(a) jsem si, že je něco nějak, ale ono je to jinak: ...

Obsah reflexí žáků je důležitým indikátorem úspěšnosti realizace výukové aktivity a současně nenahraditelným prostředkem k jejímu zdokonalování.

## 5.4.2 Výběr z reflexí

Některé reflexe dokládají skutečnost, že daná věc byla pochopena správně a hovoří v dílčí úspěch výukové aktivity. Další reflexe naznačují, že některé skutečnosti nebyly řádně pochopeny. V takovém případě je třeba zpozornět, protože příslušné jevy nemusely být vysvětleny zcela jasně, či jim nebyl věnován dostatek času.



Obrázek 5.19: Reflexe po realizaci učební aktivity na gymnáziu Špitálská

### Zaujalo mě, překvapilo mě, nevěděl(a) jsem, chci si pamatovat:

- „Že ani proudový chránič neubrání dítě před smrtí, jestliže se napojí 2 pólův.“
- „Jednoznačně pojistka, máme doma a týká se nás to opravdu velmi. Nevěděla jsem jak pojistka funguje, vždy jsem jen přehazovala a teď mám dobrou představu o tom, co dělám.“
- „Že mám zabavovat „dvojlinkové“ prodlužovačky.“
- „Vzhledem k tomu, že moje sestra strčila sponku do zdroje takto (viz obrázek) a přežila, s tím, že byla na líně, tak mě poslední pokus zaujal.“
- „Celková práce na věcech, které nám pan profesor ukazoval. Jednotlivé lišící se desky se zásuvkami a dráty, to je prostě super, že si opravdu někdo dal takovou práci. A mrzí mě, že mi ta fyzika moc nejde. Celková práce na věcech, které nám pan profesor ukazoval. Jednotlivé lišící se desky se zásuvkami a dráty, to je prostě super, že si opravdu někdo dal takovou práci. A mrzí mě, že mi ta fyzika moc nejde.“
- „Jednoznačně pojistka, máme doma a týká se nás to opravdu velmi. Nevěděla jsem jak pojistka funguje, vždy jsem jen přehazovala a teď mám dobrou představu o tom, co dělám.“
- „Že mi chránič párkrát zachránil život.“
- „Stačí trochu nepozornosti a je ze mne stejk.“
- „Jak chladnokrevně učitel zabíjel loutky.“

Všechny reflexe jsou obsahem přílohy 4.

## 5.5 Možnosti dalšího vývoje

Nakonec krátce nastíníme, kterým směrem se může ubírat další vývoj vzniklého učebního textu, sestavené výukové aktivity a zhotoveného demonstračního modelu rozvodné sítě.

### Učební text k rozvodným soustavám

1. Redukce učebního textu do podoby „kompaktní příručky“.
2. Rozšíření učebního textu odbornějšími tématy.
3. Navázání učebním textem s těžištěm v přenosové soustavě, v transformaci a v třífázovém vedení elektrické energie.

### Výuková aktivita

1. Další realizace výukové aktivity a další sbírání zkušeností s cílem nalézt její neoptimálnější podobu.
2. Podrobnější analýza výsledků dotazníkového šetření.
3. Zjišťování trvalosti získaných vědomostí u skupin, které výukovou aktivitu již absolvovaly.

### Demonstrační model

1. Natočení videí s demonstracemi na modelu rozvodné sítě a jejich zveřejnění v online sbírce pokusů (Kácovský, 2015).
2. Analýza možností sériové výroby demonstrační sady.
3. Vytvoření podrobného metodického návodu k provádění experimentů.
4. Výroba a popis volitelných rozšíření modelu:
  - (a) Možnost zatížit modelovou sít takovým proudem, aby došlo v rozumně krátkém čase k aktivaci tepelné spouště jističe.
  - (b) Příslušenství pro demonstraci úrazu elektrickým proudem při ponoření fénu do vany.
  - (c) Podložka pod panáčka s volitelným odporem pro hledání minimálního rozdílového proudu potřebného pro vybavení proudového chrániče.
  - (d) Základový modul s konektory pro třífázové zapojení.
  - (e) Třífázové zásuvné moduly.

# Závěr

V rámci diplomové práce *Elektrická rozvodná soustava ve výuce fyziky* vznikl text mapující informační zdroje vztahující se k rozvodné síti s důrazem na jejich možné použití při rozšiřování obzorů učitelů fyziky nebo přímo v rámci výuky.

Stěžejní partií diplomové práce, předcházenou prakticky orientovaným přehledem potřebné teorie, je ucelený učební text týkající se rozvodné sítě, který s nezbytným minimem odborné terminologie živě a srozumitelně prezentuje pro život užitečná témata struktury a funkce elektrických rozvodů kolem nás. Čtenář je v průběhu výkladu aktivizován promýšlením různých nebezpečných situací nebo řešením poučných příkladů. Pro dobré pochopení jsou vysvětlení doplněna přehlednými schématy nebo ilustračními fotografiemi.

Z výsledků šetření na školách byla sestavena a v praxi prověřena výuková aktivita, jejíž hlavní složkou je speciálně navržená a postavená modulární demonstrační sada rozvodné sítě, složená z reálných elektrických komponent, umožňující předvést nebezpečné situace nebo vylepšovat síť dalšími ochranami.

Je zřejmé, že téma elektrické rozvodné sítě nebylo zdaleka vyčerpáno. Další zkoumání zasluhují záležitosti související například s přenosovou soustavou, s třífázovým vedením elektrického proudu nebo s funkcí transformátorů. Rozšíření by se mohl dočkat i vzniklý demonstrační model rozvodné sítě.

# Seznam použité literatury

- BASTIAN, P. (2004). *Praktická elektrotechnika*. Nakladatelství Europa-Sobotáles cz, Praha, first edition.
- BEŠTA, M. (2017). Značení kabelů a vodičů. URL <http://www.mbest.cz/wp-content/uploads/2013/01/T2.1a-Kabely.pdf>.
- DRTINA, R. (2009). Doplnující materiály k předmětu: Technická praktika elektro. URL <http://www.media4u.cz/mmX22009.pdf>.
- DUFKOVÁ, M. (2008). Bezpečně s elektřinou. URL [http://fyzweb.cz/clanky/img/00146/bezpecene\\_s\\_elektrinou.pdf](http://fyzweb.cz/clanky/img/00146/bezpecene_s_elektrinou.pdf).
- ELEKTRIKA.CZ (2016). Hrobař: Proč zabíjel prodřený prodlužovák? URL <http://elektrika.cz/data/clanky/hrobar-proc-zabijel-prodreny-prodluzovak>.
- ELEKTRIKA.CZ (2017). Kdo má doma rozvod tnc-c? URL <http://diskuse.elektrika.cz/index.php/topic,23721.0.html>.
- ELEKTROPRUMYSL.CZ (2017). Fámy a pověry týkající se proudových chráničů. URL <http://www.elektroprumysl.cz/elektroinstalace/famy-a-povery-tykajici-se-proudovych-chronicu>.
- FKT.CZ (2017). Stránky produktu proudový chránič do zásuvky. URL <https://tinyurl.com/fktproudovychranic>.
- HEJTMÁNKOVÁ, P. (2016). Dimenzování rozvodného zařízení. URL <http://home.zcu.cz/~hejtman/PEC/Prednasky/pred4.pdf>.
- HILL, J. (2016). Zemní smyčka? URL <http://www.ebastlirna.cz/modules.php?name=News&file=article&sid=224>.
- HOLAN, E. (1936). *Jiskra, která dobyla světa: hovory o elektřině pro dospívající mládež*. 1. vydání. Karel Synek, Praha.
- HROBAŘ, J. (2017). Hrobař varuje. URL <http://elektrika.cz/tema-tydne/hrobar-varuje>.
- JANATA, J. (2016). Výroba vlastního prodlužovaku: jedna z možných alternativ spáchání sebevraždy. URL [http://www.offroad-rc.info/WordPress/?page\\_id=261](http://www.offroad-rc.info/WordPress/?page_id=261).
- JANDA, O. (2008). *Praktické činnosti: Elektrotechnika kolem nás*. Nakladatelství Fortuna, Praha. ISBN 978-80-7373-031-4, first edition.
- JERMÁŘ, J. (2006). Fyzweb - videopokusy. URL <http://fyzweb.cz/materialy/videopokusy/>.
- KAČEROVSKÝ, L. (1958). *Světlo zhaslo – co teď?* 1. vydání. Státní nakladatelství technické literatury, Praha. ISBN 0-201-52983-1.

- KOLÁŘOVÁ, R. (2000). *Fyzika pro 9. ročník základní školy*. Nakladatelství Prometheus, Praha. ISBN 80-7196-193-0, first edition.
- KOMENIUM (1984). *Elektromontážní souprava, návod k použití*. Komenium n.p., Praha.
- KOUDELKOVÁ, V. (2014). Unikátní přístroje... a nebo nesmysly? URL [http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky\\_2014.pdf](http://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2014.pdf).
- KOUDELKOVÁ, V. (2016). Praktikum školních pokusů II., KDF MFF UK. URL <http://kdf.mff.cuni.cz/vyuka/psp2/doku.php>.
- KOUPILOVÁ, Z. (2016). Sborník veletrhu nápadů učitelů fyziky, KDF MFF UK. URL [http://vnuf.cz/sbornik/temata/Elektrina\\_a\\_magnetismus\\_\(4\).html](http://vnuf.cz/sbornik/temata/Elektrina_a_magnetismus_(4).html).
- KRYNICKÝ, M. (2015). Elektřina a magnetismus v praxi. URL <http://www.realisticky.cz/kapitola.php?id=60>.
- KUSALA, J. (2003). Encyklopedie energetiky. URL <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/elektr.htm>.
- KÁCOVSKÝ, P. (2015). Sbíрка fyzikálních pokusů. URL <http://fyzikalnipokusy.cz>.
- KŘÍŽ, M. (2016). Impedance smyčky v obvodech s proudovými chrániči. URL <https://tinyurl.com/impedance-smycky-v-obvodech-ch>.
- KŘÍŽ, M. (2017). Hliník, svorky, spojování vodičů. URL <http://elektro.tzb-info.cz/elektromaterialy/3910-hlinik-svorky-spojovani-vodicu>.
- LEPIL, O. (2000). *Fyzika pro gymnázia – Elektřina a magnetismus*. Nakladatelství Prometheus, Praha. ISBN 978-80-7196-385-1., first edition.
- MACHÁČEK, M. (1992). *Fyzika pro 8. ročník základní školy, II. díl*. SPN Praha, first edition.
- MEDUNA, V. (2009). Druhy rozvodných sítí. URL [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred\\_ZEP/siteF.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred_ZEP/siteF.pdf).
- MEDUNA, V. (2016). Účinky elektrického proudu na lidský organismus. URL [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred\\_ZEP/Ucinky%20el.%20proudu.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske/prednasky/pred_ZEP/Ucinky%20el.%20proudu.pdf).
- NUCLEO, S. (2006). Nucleo stop. URL <http://www.nucleostop.de>.
- OENERGETICE.CZ (2017). Rozvodné sítě tn it tt. URL <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/rozvodne-site-tn-it-tt/>.
- ORSÁGOVÁ, J. (2007). Rozvodná zařízení. URL [http://home.zcu.cz/~tesarova/PEC/Soubory/RZ\\_2007.pdf](http://home.zcu.cz/~tesarova/PEC/Soubory/RZ_2007.pdf).



- PISKAČ, V. (2011). Experimenty týkající se zkratu. URL <http://fyzikalnisuplik.websnadno.cz/pretazene/zkrat.pdf>.
- RAUNER, K. (2007). *Fyzika 9, učebnice pro základní školy a víceletá gymnázia*. Nakladatelství Fraus, Plzeň, ISBN 978-80-7238-617-8.
- REICHL, J. (2016). Multimediální encyklopedie fyziky. URL <https://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/pro-pedagogy/materialy-pro-vyuku/tiskoviny/24.html>.
- SAVER, F. (2010). Power factor saver. URL <http://cz.powerfactorsaver.com>.
- SCHRACK (2017). Produktový katalog silových kabelů. URL [https://image.schrack.com/produktkataloge/w\\_kabelyavodice06\\_cs.pdf](https://image.schrack.com/produktkataloge/w_kabelyavodice06_cs.pdf).
- SCOTT, G. (2016). Chinese power saver – does it actually save power? URL <https://youtu.be/KXRmdDAWHMg>.
- SOUKUP, F. (1959). *Elektřina slouží i škodí: výklad elektrotechnických předpisů v zrcadle skutečných příběhů*. 1. vydání. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- TESAŘOVÁ, M. (2000). Kompenzace účinníku v průmyslových sítích. URL <http://home.zcu.cz/~tesarova/PE/Soubory/Kap7.pdf>.
- VEJMEJKA, L. (2015). Praktická elektrotechnika ve výuce fyziky. URL [http://jcmf.upol.cz/soutez2015/pdf/bp/vejmelka\\_lukas\\_prakticka\\_elektrotechnika\\_ve\\_vyuce\\_fyziky.pdf](http://jcmf.upol.cz/soutez2015/pdf/bp/vejmelka_lukas_prakticka_elektrotechnika_ve_vyuce_fyziky.pdf).
- VLČEK, V. (2017). Hrobař varuje. URL <https://www.facebook.com/ElektrikarskeKuriozity>.
- WIKIPEDIA (2016). Symetrické vedení signálu. URL [https://cs.wikipedia.org/wiki/Symetrick%C3%A9\\_veden%C3%AD\\_sign%C3%A1lu](https://cs.wikipedia.org/wiki/Symetrick%C3%A9_veden%C3%AD_sign%C3%A1lu).
- WIKISKRIPTA.CZ (2016). Účinky elektrického proudu na organismus. URL [http://www.wikiskripta.eu/index.php/%C3%9A%C4%8Dinky\\_elektrick%C3%A9ho\\_proudu\\_na\\_organismus](http://www.wikiskripta.eu/index.php/%C3%9A%C4%8Dinky_elektrick%C3%A9ho_proudu_na_organismus).
- ČEZ (2014). Encyklopedie energetiky. URL <https://www.cez.cz/cs/vyzkum-a-vzdelavani/pro-pedagogy/materialy-pro-vyuku/tiskoviny/24.html>.
- ŽILAVÝ, P. (2012). *Střídavé proudy*. P3K, second edition.

# Seznam obrázků

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1    | Vzezření podezřelé prodlužovací šňůry . . . . .   | 3  |
| 2.1  | Obrázky z učebnic fyziky pro základní školu a víceletá gymnázia .   | 7  |
| 2.2  | Ukázky obrázků týkající se rozvodné soustavy z učebnice pro SŠ .  | 8  |
| 2.3  | Ukázky z dalších materiálů doplňujícího a rozšiřujícího charakteru  | 10 |
| 2.4  | Jistič a jeho idealizované schéma z encyklopedie (Reichl, 2016) . .   | 11 |
| 2.5  | Graficky kvalitně zpracované ilustrace z encyklopedie <i>Elektrina</i> . .  | 12 |
| 2.6  | Ilustrace k výkladu vyrovnání potenciálu v prostoru stání zvířat .  | 14 |
| 2.7  | Ukázky z odborných textů souvisejících s tématem rozvodné sítě .  | 15 |
| 2.8  | Ukázky z odborných textů souvisejících s tématem rozvodné sítě .  | 16 |
| 2.9  | Charakteristiky jističů a význam jejich jmenovitých parametrů . .   | 19 |
| 2.10 | Časový vývoj rozložení produkce elektrické energie . . . . .  | 21 |
| 2.11 | Online nástroje, monitorovací aplikace a interaktivní mapy . . . .  | 22 |
| 2.12 | Ukázky obrázků z textů varujícího či odstrašujícího ladění . . . .  | 24 |
| 2.13 | Doporučené zapojení výrobce . . . . .   | 26 |
| 2.14 | Power Factor Saver v elektrické zásuvce funguje jako kompenzační kondenzátor paralelně řazený s ostatními spotřebiči (Scott, 2016).   | 27 |
| 4.1  | Vícenásobná prodlužovací šňůra s přerušeným ochranným vodičem   | 48 |
| 4.2  | Od jednoduchého schématu ke schématu elektrické sítě v budově .   | 49 |
| 4.3  | Schéma zapojení spotřebičů k hlavní přípojce v garsonce . . . . .   | 50 |
| 4.4  | Překreslené schéma zapojení spotřebičů k hlavní přípojce v garsonce   | 50 |
| 4.5  | Zásuvky vícenásobné prodlužovací šňůry – nad zdírkami se pne kolík.   | 51 |
| 4.6  | Cesta od distribučního transformátoru k bytovému rozvaděči . . . .  | 52 |
| 4.7  | „Průchozí“ třífázová elektrická přípojka dvou sousedících domů .  | 54 |
| 4.8  | Zapojení jednofázových a třífázových spotřebičů k třífázové přípojce  | 55 |
| 4.9  | Příklad elektrické sítě jednofázových zásuvek a spotřebičů . . . . .  | 56 |
| 4.10 | Domovní jednofázová přípojka jako zdroj napětí . . . . .  | 56 |
| 4.11 | Možnosti dotyku vodičů v případě jednofázové přípojky . . . . .   | 57 |
| 4.12 | Schémata zapojení žárovky k domovní jednofázové přípojce . . . .  | 58 |
| 4.13 | Diagram obecných rizik hrozících v nechráněné elektrické síti. . .  | 58 |
| 4.14 | Rizikové situace, při kterých hrozí škoda na majetku . . . . .  | 59 |
| 4.15 | Rizikové situace, při kterých je ohroženo lidské zdraví . . . . .   | 59 |
| 4.16 | Situace při zkratu . . . . .  | 60 |
| 4.17 | Spotřebiče v kuchyni . . . . .  | 61 |
| 4.18 | Schéma dotyku živé nebo neživé části lampičky člověkem . . . . .  | 62 |
| 4.19 | Zkrat na vedení . . . . .   | 63 |
| 4.20 | Přetížení vedení . . . . .  | 63 |
| 4.21 | Dotyk neživé části . . . . .  | 64 |
| 4.22 | Dotyk živé části . . . . .  | 64 |
| 4.23 | Vřazení pojistky nebo jističe do cesty fázového vodiče . . . . .  | 64 |
| 4.24 | Joulův výkon částí vodiče proměnného průřezu . . . . .  | 65 |
| 4.25 | Efekty zahřívání vodiče protékaného proudem v běžné praxi . . . .   | 66 |
| 4.26 | Dvou vodičová elektrická síť chráněná pojistkou, resp. jističem . . .   | 67 |
| 4.27 | Nebezpečné napětí na neživé části v síti s ochranným vodičem zname-<br>ná zkrat následovaný přerušením obvodu pojistkou nebo jističem | 68 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 4.28 | Schéma části TN-C sítě domácnosti se třemi chráněnými okruhy . . . . .   | 69  |
| 4.29 | Typy vidlic: vlevo dvoupólové, vpravo s ochranným kontaktem . . . . .  | 70  |
| 4.30 | Zapojení zásuvky v síti TN-C. Z ní vedou vodiče k další zásuvce. . . . .   | 70  |
| 4.31 | Přerušovaný vodič PEN . . . . .  | 72  |
| 4.32 | Dotyk spotřebiče zapojeného v zásuvce s přerušovaným PEN vodičem . . . . .   | 72  |
| 4.33 | Dotyk spotřebiče zapojeného v zásuvce s částečně přerušovaným PEN vodičem . . . . .  | 73  |
| 4.34 | Vznik úrazu elektrickým proudem při přerušení vodiče PEN . . . . .   | 74  |
| 4.35 | Schéma vzniku rušení signálu obrazu pro projektor . . . . .  | 75  |
| 4.36 | Zavlečení 50 Hz „brumu“ do audio signálu u zemněných přístrojů . . . . .   | 76  |
| 4.37 | Spojení strun kytary, signálové země a ochranného vodiče zesilovače . . . . .  | 77  |
| 4.38 | Stereofonní DI box vřazený do cesty stereo signálu z NTB do mixu . . . . .   | 78  |
| 4.39 | Problémy sítě TN-C vyskytující se v jednom elektrickém rozvodu . . . . .   | 79  |
| 4.40 | Úprava sítě TN-C na síť TN-S rozdělením vodiče PEN v rozvaděči . . . . .   | 80  |
| 4.41 | Zapojení zásuvky v síti TN-S. Z ní vedou vodiče k další zásuvce. . . . .   | 80  |
| 4.42 | Místo rozdělení vodiče PEN ve vodiče PE a N. . . . .   | 81  |
| 4.43 | Schéma části TN-S sítě domácnosti se třemi chráněnými okruhy . . . . .   | 82  |
| 4.44 | Pohledy do reálné elektroinstalace v síti TN-S . . . . .   | 82  |
| 4.45 | Nebezpečné napětí na neživé části ve všech typech sítí znamená zkrat následovaný přerušením obvodu pojistkou nebo jističem . . . . . | 83  |
| 4.46 | Proudový chránič instalovaný v hlavním rozvaděči . . . . .   | 84  |
| 4.47 | Proudový chránič přeruší obvod, dojde-li k úniku proudu (červeně) . . . . .  | 84  |
| 4.48 | Tři situace s pračkou a zásuvkou chráněnou proudovým chráničem. . . . .  | 85  |
| 4.49 | Venkovní rozvaděč s proudovým chráničem na jedné pražské tržnici . . . . .   | 86  |
| 4.50 | Proudový chránič do zásuvky (fkt.cz (2017)) . . . . .  | 87  |
| 4.51 | Přípustné zapojení proudového chrániče do zásuvky v síti TN-C . . . . .  | 88  |
| 4.52 | Proudový chránič a přerušení vodiče PEN před jeho rozdělením na PE a N . . . . .   | 88  |
| 4.53 | Zapojení proudových chráničů v domě u Nováků . . . . .   | 89  |
| 4.54 | Rozvod starého mlýna zoufale vyhlížející rekonstrukci . . . . .  | 92  |
| 4.55 | K výkladu funkce jističe . . . . .   | 93  |
| 4.56 | Vypínací charakteristiky jističů typu B,C a D . . . . .  | 94  |
| 4.57 | Vypínací charakteristika proudového chrániče s $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ . . . . .  | 95  |
| 4.58 | Jednofázový proudový chránič s $I_{\Delta n} = 30 \text{ mA}$ . . . . .  | 96  |
| 5.1  | Výroba makety ze zdi vytržené zásuvky a „LED žárovky“ . . . . .  | 114 |
| 5.2  | Přehled <i>pracovních karet</i> se schématy pro výukovou aktivitu . . . . .  | 115 |
| 5.3  | Původní souprava . . . . .   | 118 |
| 5.4  | Soupravy předcházející <i>demonstračnímu modelu rozvodné sítě</i> . . . . .  | 118 |
| 5.5  | Nový demonstrační model rozvodné sítě v kufríku a v provozu . . . . .  | 119 |
| 5.6  | Základový modul s odjímatelnými lištami pro zásuvné moduly . . . . .   | 120 |
| 5.7  | Přehled zásuvných modulů a jejich demonstračních možností . . . . .  | 121 |
| 5.8  | Detail zapojení zásuvek na zásuvných modulech . . . . .  | 121 |
| 5.9  | Spotřebiče a příslušenství v sadě demonstračního modelu . . . . .  | 122 |
| 5.10 | Dotyk kovové části dvoupólově zapojeného porouchaného spotřebiče . . . . .   | 123 |
| 5.11 | Vybavení jističe při nebezpečném napětí na neživé části . . . . .  | 123 |
| 5.12 | Nebezpečný bezvadný spotřebič při porušení vodiče PEN . . . . .  | 124 |
| 5.13 | Nebezpečný <b>vypnutý</b> bezvadný spotřebič při porušení vodiče PEN . . . . .   | 124 |

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 5.14 | Jednopolové dotyky v síti TN-S s fází zapojenou v levé zdířce . . .   | 125 |
| 5.15 | Prověřování funkce chrániče při jednopolovém a dvoupolovém dotyku   | 125 |
| 5.16 | Vyřazení ochrany samočinným odpojením od zdroje použitím pro-<br>dlužovací šňůry bez ochranného vodiče . . . . .                          | 126 |
| 5.17 | Vznik demonstračního modelu rozvodné sítě v devíti krocích . . .  | 126 |
| 5.18 | Realizace výukové aktivity <i>Po stopách tajemství elektrické zásuvky</i><br>s novým demonstračním modelem v sextě na gymnáziu Voděradská | 127 |
| 5.19 | Reflexe po realizaci učební aktivity na gymnáziu Špitálská . . . .  | 128 |

# A. Přílohy

**Příloha 1:** Dotazník „Po stopách tajemství elektrické zásuvky“ (2 strany)

**Příloha 2:** Zpracování dat dotazníkového šetření (16 stran)

**Příloha 3:** Pracovní karty pro výukovou aktivitu (3 strany)

**Příloha 4:** Reflexe účastníků výukové aktivity (4 strany)

**Příloha 5:** Vnitřek jističe ve velkém rozlišení (1 strana)

**Příloha 6:** Proudový chránič ve velkém rozlišení (2 strany)