

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra experimentální fyziky

**DOMÁCÍ ELEKTRICKÉ SPOTŘEBIČE V KONTEXTU STŘEDOŠKOLSKÉ
FYZIKY
(DOMESTIC ELECTRICAL APPLIANCE IN SECONDARY SCHOOL
EDUCATION)**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Doc. RNDr. Romana Kubínka, CSc. za použití materiálů uvedených v seznamu použité literatury.

Alena Večeřová

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu bakalářské práce Doc. RNDr. Romanu Kubínkovi, CSc. za vedení a cenné rady a připomínky, které mi při zpracovávání této bakalářské práce vždy ochotně poskytl. Dále bych ráda poděkovala RNDr. Renatě Holubové, CSc. za konzultace ohledně kapitoly 3.

Děkuji rovněž Mgr. Marii Volné za konzultace ohledně vyhodnocení dotazníkového šetření.

BIBLIOGRAFICKÁ IDENTIFIKACE

Autor: Alena Večeřová

Název práce: Domácí elektrické spotřebiče v kontextu středoškolské fyziky

Typ práce: Bakalářská práce

Pracoviště: Katedra experimentální fyziky

Vedoucí práce: doc. RNDr. Roman Kubínek, CSc.

Rok obhajoby práce: 2011

Abstrakt:

Technický pokrok se neustále zrychluje. V každodenním životě používáme stále nové typy elektrických zařízení. Nicméně se většina uživatelů nesnaží pochopit základní princip funkce zařízení. Tato práce porovnává tradiční a netradiční spotřebiče. Při vysvětlování principů funkce spotřebičů jsou poznatky z elektřiny a magnetismu propojovány s poznatky z jiných disciplín fyziky.

Klíčová slova: elektrický domácí spotřebič, účinnost, Jouleovo teplo, elektromagnetická indukce, výboj v plynu, průchod proudu v polovodiči

Počet stran: 71

Počet příloh: 2

Jazyk: Český

BIBLIOGRAPHICAL IDENTIFICATION

Autor: Alena Večeřová

Title of thesis: Bachelor thesis

Department: Department of Experimental Physics

Supervisor: doc. RNDr. Roman Kubínek, CSc.

The year of presentation: 2011

Abstract:

Technical progress accelerates quickly. In our everyday life, we use new types of electrical appliances. Nevertheless, the most of users do not try to understand to basic function principles of electrical appliances, which they use daily. The submitted work is focused on the comparison of traditional and untraditional types of electrical devices. Explanation of function principles of electrical appliances is based on the integration of Electricity and Magnetism with another parts of Physics.

Keywords: electrical appliance, effectiveness, Joule heating, electromagnetic induction, electric current in gas, electric current in semiconductors

Number of pages: 71

Number of appendices: 2

Language: Czech

OBSAH

1. Úvod	7
2. Zjištění základních znalostí studentů SŠ dotazníkovým šetřením	8
2. 1 Vyhodnocení jednotlivých otázek dotazníkového šetření.....	8
2.2 Celková úspěšnost dotazníku	17
3. Tepelné čerpadlo a chladnička.....	19
3.1 Tepelné čerpadlo	19
3.1.1 Princip funkce tepelného čerpadla.....	19
3.1.2 Topný faktor tepelného čerpadla	23
3.1.3 Druhy tepelných čerpadel.....	27
3. 2 Chladnička.....	27
3. 2. 1 Princip funkce chladničky	28
4. Varné elektrické spotřebiče.....	31
4. 1 Mikrovlnné trouby	31
4. 1. 1 Princip funkce mikrovlnné trouby.....	33
4. 1. 2 Varné nádobí a potraviny vhodné pro mikrovlnný ohřev	38
4. 2 Elektrické varné desky	39
4.2.1 Plotýnkové varné desky.....	40
4.2.2 Sklokeramické odporové varné desky.....	41
4.2.3 Sklokeramické indukční varné desky	43
5. Elektrické světelné zdroje	46
5.1 Teplotní elektrické světelné zdroje	47
5.1.1 Obyčejná žárovka	48
5.1.2 Halogenová žárovka	51
5.2 Výbojové zdroje	54
5. 3 Světelný zdroj využívající LED technologie – LED zářivka.....	59
6. Závěr	65
7. Seznam použité literatury a ostatních zdrojů	66
Příloha 1	68
Příloha 2.....	69

1. ÚVOD

Motivací k volbě zaměření práce mi byl neustále se zrychlující technický pokrok. V každodenním životě se setkáváme se stále novými a novými typy elektrických spotřebičů pracujících na zcela jiných principech než jejich předchůdci.

Studenti sice nové technologie hojně využívají, ale často bez snahy porozumět jejich základním principům. Není v silách člověka chápat principy všech zařízení kolem něj, ale studenti by podle mého názoru měli chápat základní myšlenku principu funkce zařízení, která denně používají. Původním zaměřením práce byla aplikace středoškolských poznatků z oblasti elektřiny a magnetismu na tematiku elektrických spotřebičů, tedy praktického využití středoškolských poznatků a vzájemného propojení poznatků z různých disciplín středoškolské fyziky. Během zpracovávání tématu se ukázalo výhodnějším představit tradiční elektrické spotřebiče ve srovnání s netradičními spotřebiči, které mají obdobné použití ovšem s využitím zcela jiných fyzikálních principů nebo mají zcela jiné využití, ale spojuje je obdobný fyzikální princip.

Cílem práce je ukázat integrující charakter učiva elektřiny a magnetismu s dalšími disciplínami fyziky a jejich užitečnost pro pochopení principu funkce domácích spotřebičů.

2. ZJIŠTĚNÍ ZÁKLADNÍCH ZNALOSTÍ STUDENTŮ SŠ DOTAZNÍKOVÝM ŠETŘENÍM

Cílem následujícího dotazníkového šetření je zjištění základních znalostí o pojmech z elektřiny a magnetismu vycházejících z tradičních učebních osnov na střední škole. Uvedené pojmy se tematicky vztahují k tématu elektrické spotřebiče v domácnosti.

Šetření bylo provedeno se 73 respondenty ze třech tříd třetího ročníku na gymnáziu Čajkovského v Olomouci. Dotazník je zpracován formou deseti testových otázek s výběrem právě jedné správné odpovědi ze čtyř uvedených možností (viz Příloha 1).

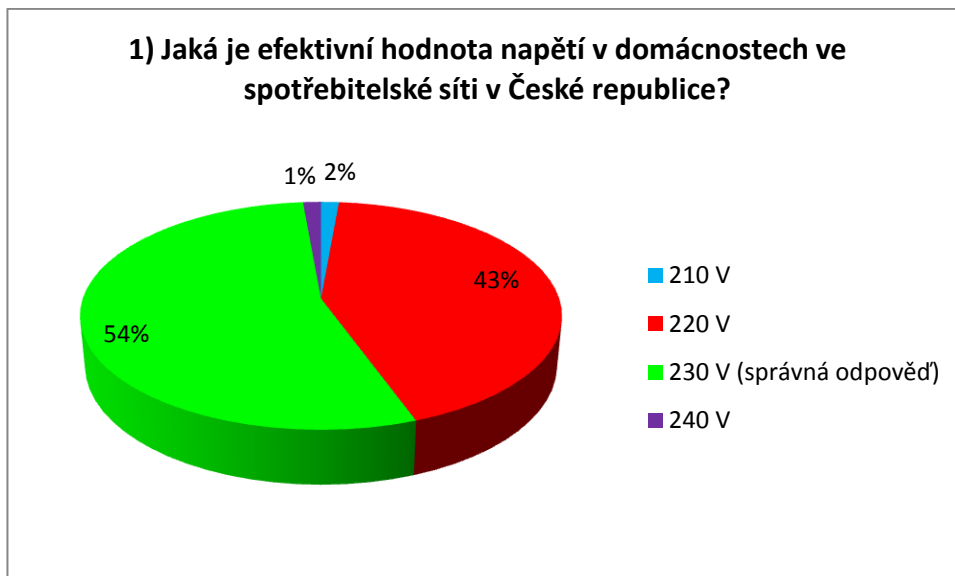
2. 1 VYHODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH OTÁZEK DOTAZNÍKOVÉHO ŠETŘENÍ

1. OTÁZKA

Jaká je efektivní hodnota napětí v domácnostech ve spotřebitelské síti v České republice?

- a) 210 V
- b) 220 V
- c) 230 V
- d) 240 V

Správně je odpověď c) kterou uvedlo 54 % respondentů. Odpověď b) byla zvolena 44 % studentů (dříve totiž bylo napětí 220 V), odpověď a) 2% studentů a odpověď d) pouze 1 % studentů.

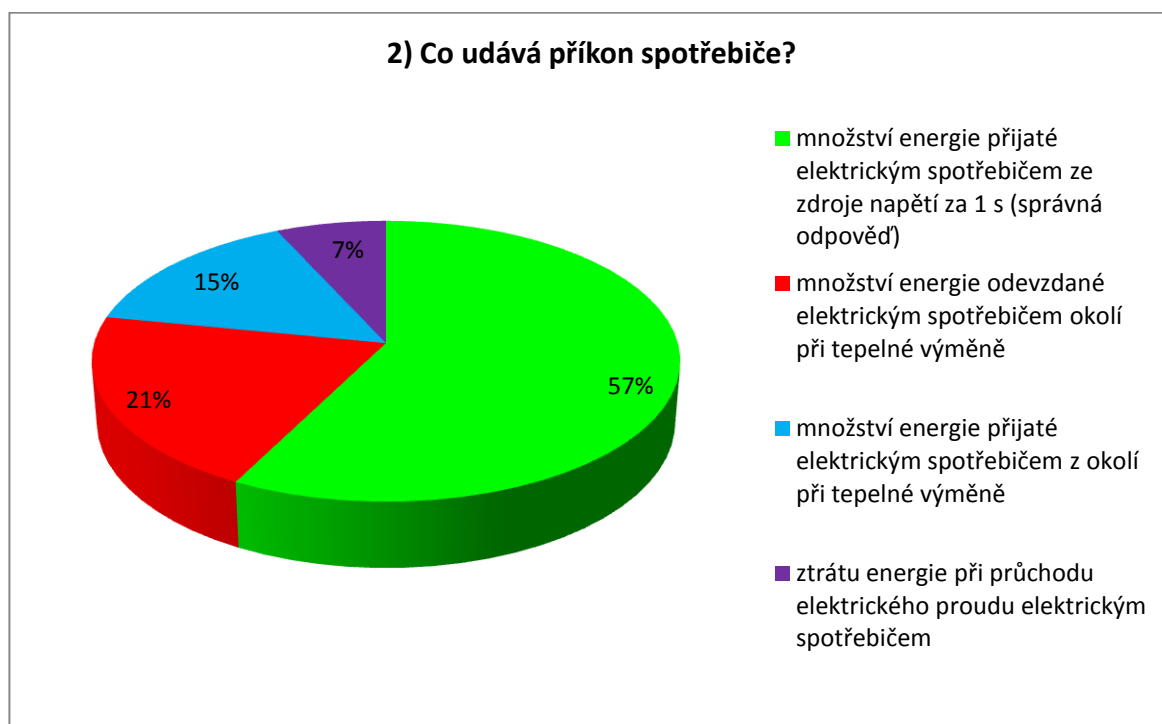


Graf 1: Odpověď na otázku „Jaká je efektivní hodnota napětí v domácnostech ve spotřebitelské síti v České republice?“

2. OTÁZKA

Co udává příkon spotřebiče?

- a) množství energie přijaté elektrickým spotřebičem ze zdroje napětí za 1 s
- b) množství energie odevzdané elektrickým spotřebičem okolí při tepelné výměně
- c) množství energie přijaté elektrickým spotřebičem z okolí při tepelné výměně
- d) ztrátu energie při průchodu elektrického proudu elektrickým spotřebičem



Graf 2 : Odpověď na otázku „Co udává příkon spotřebiče?“

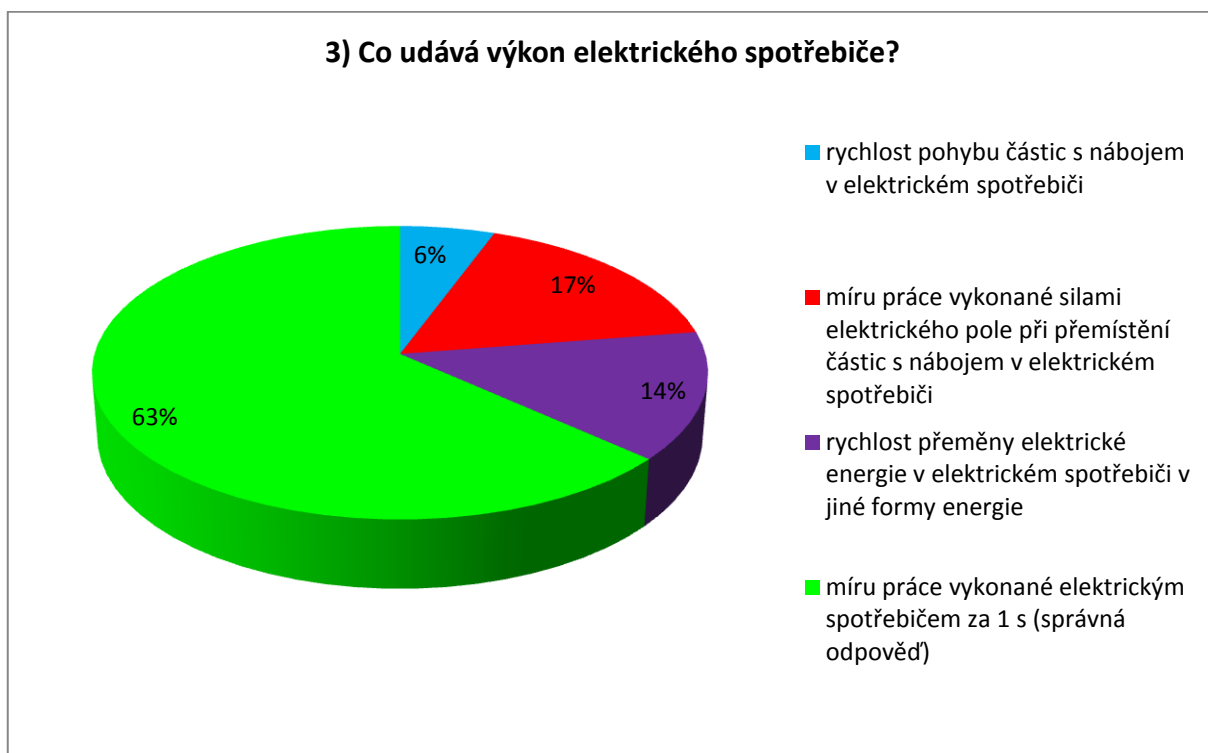
Správnou odpovědí je možnost a), kterou zvolilo 57 % studentů. Možnost b) si vybralo 21 % studentů, možnost c) 15 % studentů a možnost d) 7 % studentů.

3. OTÁZKA

Co udává výkon elektrického spotřebiče?

- a) rychlost pohybu částic s nábojem v elektrickém spotřebiči
- b) míru práce vykonané silami elektrického pole při přemístění částic s nábojem v elektrickém spotřebiči
- c) rychlost přeměny elektrické energie v elektrickém spotřebiči v jiné formy energie
- d) míru práce vykonané elektrickým spotřebičem za 1 s

63 % studentů zvolilo správně možnost d). Možnost b) zvolilo 17 % studentů, možnost c) 14 % studentů a možnost a) vybralo 6 % studentů.



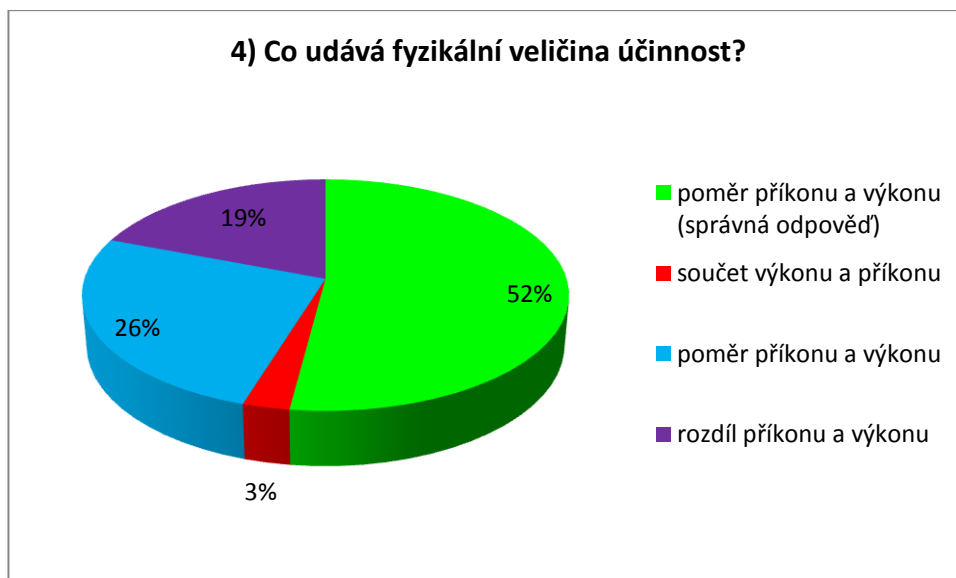
Graf 3: Odpověď na otázku „Co udává výkon elektrického spotřebiče?“

4. OTÁZKA

Co udává fyzikální veličina účinnost?

- a) poměr výkonu a příkonu
- b) součet výkonu a příkonu
- c) poměr příkonu a výkonu
- d) rozdíl příkonu a výkonu

Správnou odpověď a) vybralo 52 % studentů, možnost c) zvolilo 26 % studentů, možnost d) 19 % studentů a možnost b) 3 % dotázaných.

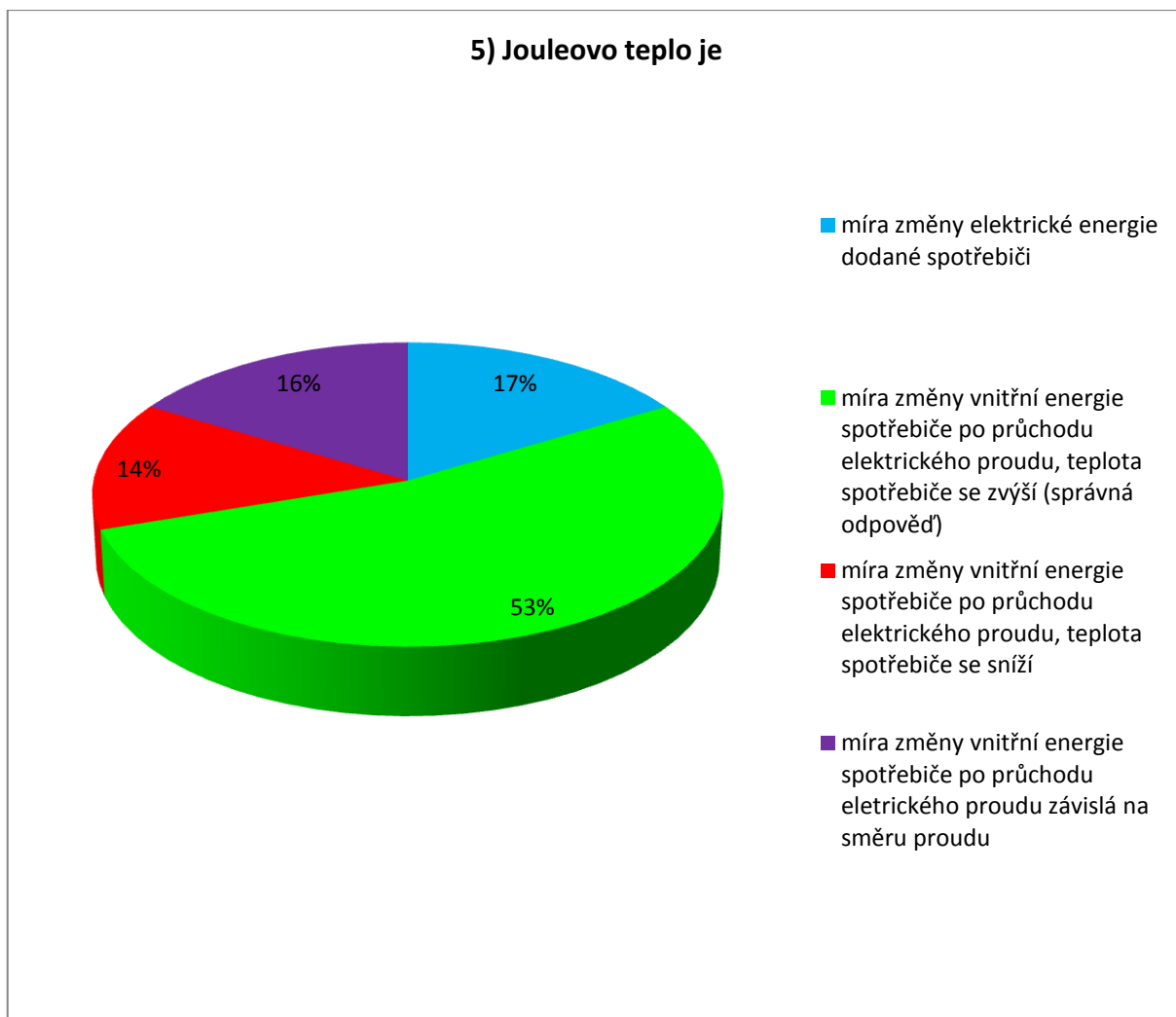


Graf 3: Odpověď na otázku „Co udává fyzikální veličina účinnost?“

5. OTÁZKA

Jouleovo teplo je

- a) míra změny elektrické energie dodané spotřebiči
 - b) míra změny vnitřní energie spotřebiče po průchodu elektrického proudu, teplota spotřebiče se zvýší
 - c) míra změny vnitřní energie spotřebiče po průchodu elektrického proudu, teplota spotřebiče se sníží
 - d) míra změny vnitřní energie spotřebiče po průchodu elektrického proudu závislá na směru proudu
- Správně na otázku odpovědělo 53 % respondentů výběrem možnosti b), variantu a) uvedlo 17 % studentů, variantu d) 16 % studentů a variantu c) 14 % dotázaných.



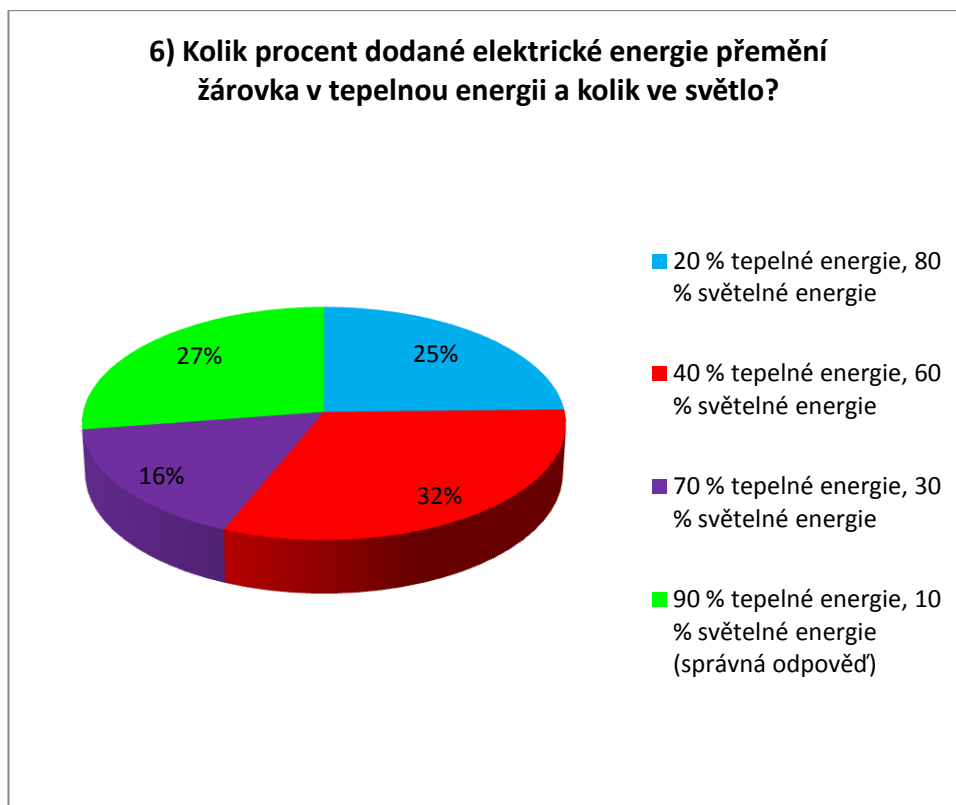
Graf 5: Odpověď na otázku „Jouleovo teplo je“.

6. OTÁZKA

Kolik procent dodané elektrické energie přemění žárovka v tepelnou energii a kolik ve světlo?

- a) 20 % tepelné energie, 80 % světelné energie
- b) 40 % tepelné energie, 60 % světelné energie
- c) 70 % tepelné energie, 30 % světelné energie
- d) 90 % tepelné energie, 10 % světelné energie

Správnou odpovědí je varianta d), kterou vybralo 27 % studentů, 32 % dotázaných zvolilo variantu b), možnost a) byla vybrána 25 % studentů a možnost c) si vybralo 16 % studentů.



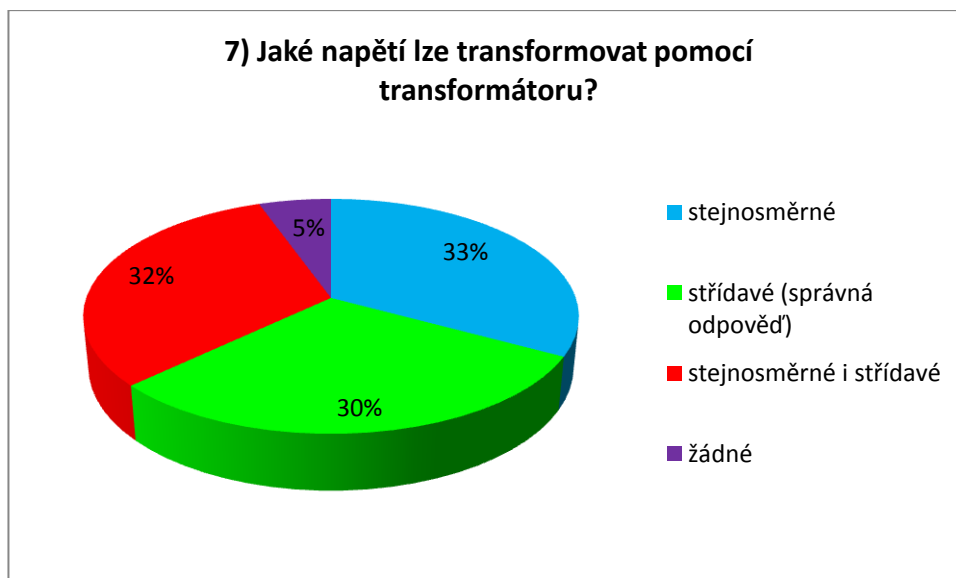
Graf 6: Odpověď na otázku „Kolik procent dodané elektrické energie přemění žárovka v tepelnou energii a kolik ve světlo?“

7. OTÁZKA

Jaké napětí lze transformovat pomocí transformátorů?

- a) stejnosměrné
- b) střídavé
- c) stejnosměrné i střídavé
- d) žádné

Správnou odpovědí je varianta b), kterou vybralo 30 % studentů, možnost a) zvolilo 33 % dotázaných, možnost c) byla vybrána 32 % respondentů a možnost d) si vybralo 5 % studentů.



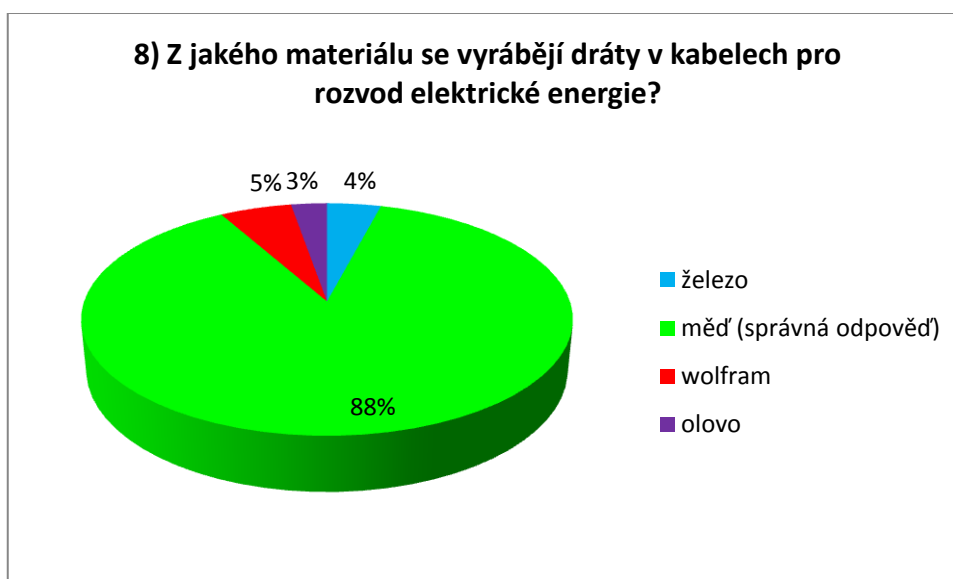
Graf 7: Odpověď na otázku „Jaké napětí lze transformovat pomocí transformátoru?“

8. OTÁZKA

Z jakého materiálu se vyrábějí dráty v kabelech pro rozvod elektrické energie?

- a) železo
- b) měď
- c) wolfram
- d) olovo

88 % studentů zvolilo správnou odpověď b). Varianta c) byla vybrána 5 % respondentů, variantu a) zvolila 4 % studentů a variantu d) uvedla 3 % dotázaných.



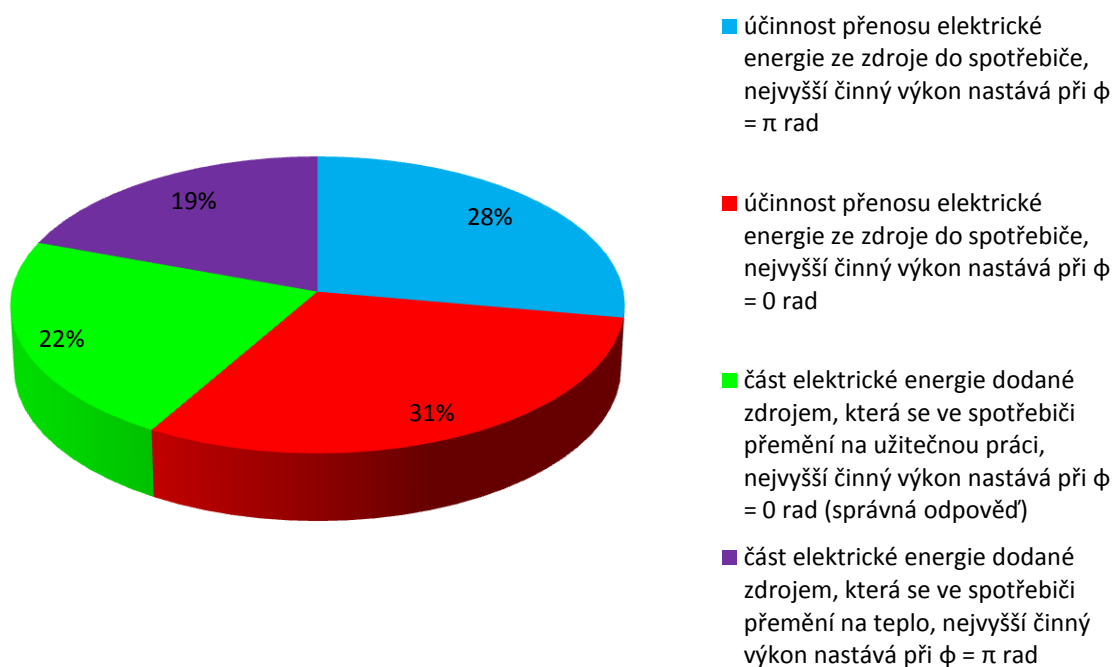
Graf 8: Odpověď na otázku „Z jakého materiálu se vyrábějí dráty v kabelech pro rozvod elektrické energie?“

9. OTÁZKA

Co udává účinník $\cos\varphi$ a jak ovlivňuje velikost činného výkonu střídavého proudu dle vztahu $P = UI\cos\varphi$? (kde U a I značí velikost efektivních hodnot střídavého napětí a proudu a φ velikost fázového rozdílu napětí a proudu)

- a) účinnost přenosu elektrické energie ze zdroje do spotřebiče, nejvyšší činný výkon nastává při $\varphi = \pi \text{ rad}$
- b) účinnost přenosu elektrické energie ze zdroje do spotřebiče, nejvyšší činný výkon nastává při $\varphi = 0 \text{ rad}$
- c) část elektrické energie dodané zdrojem, která se ve spotřebiči přemění na užitečnou práci, nejvyšší činný výkon nastává při $\varphi = 0 \text{ rad}$
- d) část elektrické energie dodané zdrojem, která se ve spotřebiči přemění na teplo, nejvyšší činný výkon nastává při $\varphi = \pi \text{ rad}$

9) Co udává účinník $\cos\varphi$ a jak ovlivňuje velikost činného výkonu střídavého proudu dle vztahu $P = UI\cos\varphi$? (kde U a I značí velikost efektivních hodnot střídavého napětí a proudu a φ velikost fázového rozdílu napětí a proudu)



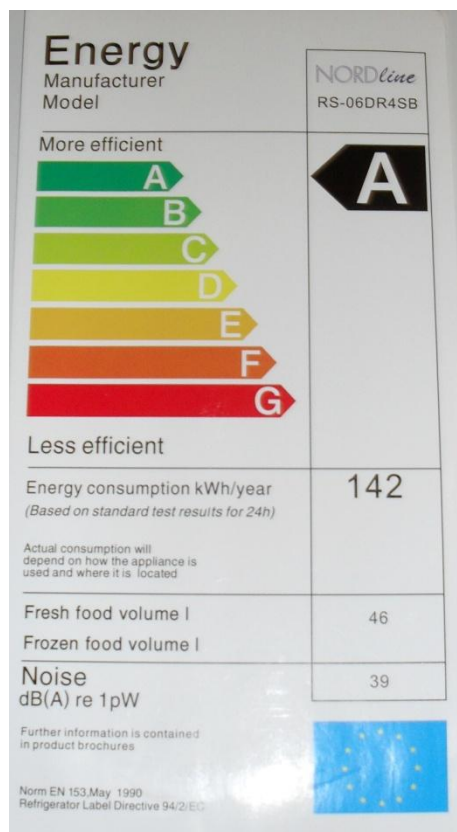
Graf 9: Odpověď na otázku „Co udává účinník $\cos\phi$ a jak ovlivňuje velikost činného výkonu střídavého proudu dle vztahu $P = UI\cos\phi$? (kde U a I značí velikost efektivních hodnot střídavého napětí a proudu a ϕ velikost fázového rozdílu napětí a proudu)“

Správnou odpověď c) uvedlo 22 % dotázaných, variantu b) vybralo 31 % studentů, variantu a) 28 % studentů a variantu d) vybralo 19 % respondentů.

10. OTÁZKA

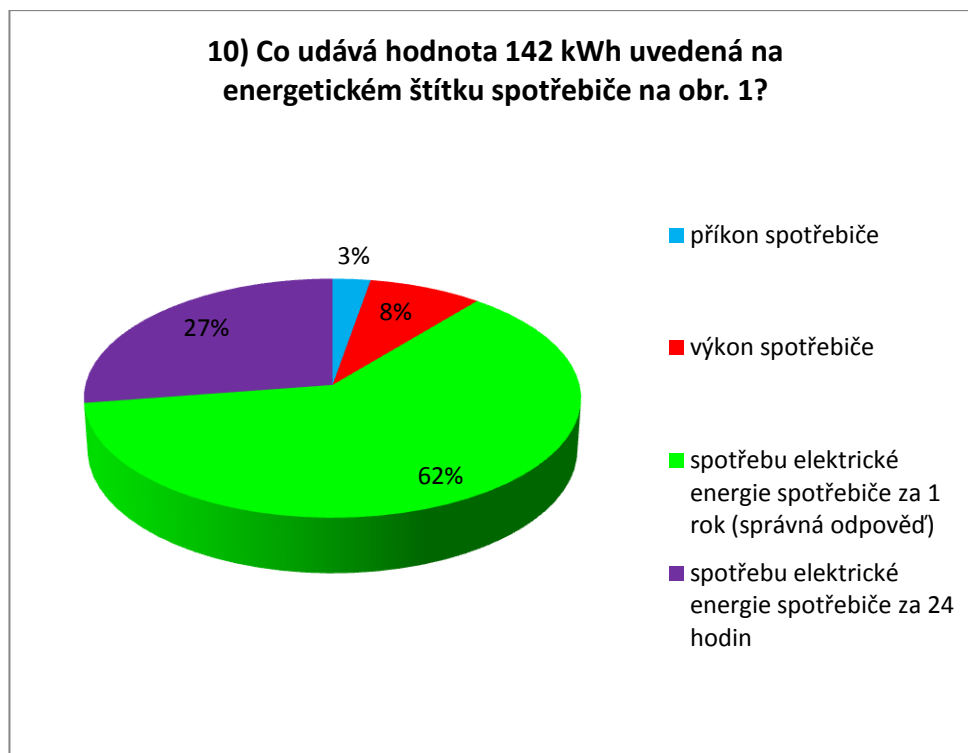
Co udává hodnota 142 kWh uvedená na energetickém štítku spotřebiče na obr.1?

- a) příkon spotřebiče
- b) výkon spotřebiče
- c) spotřebu elektrické energie spotřebiče za 1 rok
- d) spotřebu elektrické energie spotřebiče za 24 hodin



Obrázek 1: Energetický štítek spotřebiče

Správnou odpovědí je možnost c), kterou zvedlo 62 % dotázaných. 27 % studentů zvolilo možnost d), 8 % studentů vybralo možnost b) a možnost a) byla zvolena 3 % studentů.



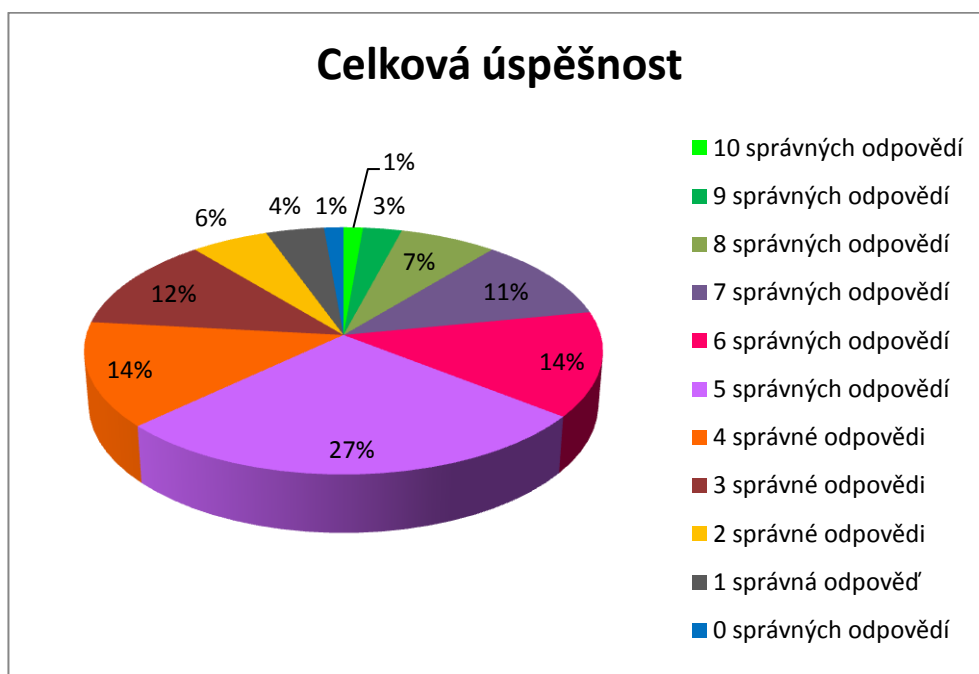
Graf 10: Odpověď na otázku „Co udává hodnota 142 kWh uvedená na energetickém štítku spotřebiče na obr. 1?“

2.2 CELKOVÁ ÚSPĚŠNOST DOTAZNÍKU

Bez chyby dotazník zodpovědělo pouze 1 % studentů, 9 otázek z deseti správně zodpověděla 3 % dotazovaných, 8 otázek správně uvedlo 7 % dotazovaných, 7 otázek zodpovědělo správně 11 % respondentů, 6 otázek bylo správně zodpovězených u 14 % respondentů. Poloviční úspěšnosti v testu dosáhlo 27 % dotázaných studentů, 4 otázky byly správně zodpovězeny 14 % studentů a tři otázky byly zodpovězeny 12 % studentů. Dvě otázky z deseti zodpovědělo 6 % studentů, pouhou jednu otázku správně zodpověděla 4 % studentů a 1 % studentů nezodpovědělo správně žádnou otázku. Nejsnadnější otázkou se ukázala otázka 8 (Z jakého materiálu se vyrábějí dráty v kabelech pro rozvod elektrické energie?), na kterou správně odpovědělo 88 % studentů. Dotazovaní studenti si dobře vedli i u otázky 3 (Co udává výkon elektrického spotřebiče?), kterou 63 % studentů zodpovědělo správně. Podobně na tom byla i otázka 10 (Co udává hodnota 142 kWh uvedená na energetickém štítku spotřebiče na obr.1?) s 63 % studentů znajících správnou odpověď. V tomto případě se jednalo o velmi jednoduchou otázku, na kterou se odpověď dala vyčíst z obrázku. Naopak nejobtížnější se projevila otázka 9 (o účínku), kterou správně zodpovědělo pouze 30 % studentů. Jednou z dalších obtížnějších otázek je otázka 6 (Kolik procent dodané elektrické energie přemění žárovka v tepelnou energii a kolik ve světlo?), u

které správnou odpověď zvolilo pouze 27 % dotázaných. Otázka č. 7 (Jaké napětí lze transformovat pomocí transformátorů?) měla úspěšnost 30 %.

Celkově se znalosti dotazovaných studentů ukazují jako dobré. Problémovými pojmy jsou účinník (otázka 9), energetická efektivita žárovky (otázka 6) a transformátory (otázka 7). Možnou příčinou je nedostatečný důraz kladený na tyto pojmy při výuce. Naopak dobře zvládnutými pojmy jsou materiál k výrobě kabelů pro rozvod elektrické energie a výkon (otázka 3).



Graf 11: Celková úspěšnost studentů v dotazníkovém testu.

3. TEPELNÉ ČERPADLO A CHLADNIČKA

V následující kapitole se budeme zabývat dvěma elektrickými spotřebiči, mezi kterými na první pohled není přímočará souvislost. Pracují ovšem na stejném principu, rozdíl je jen v účelu, ke kterým je využíváme a v některých konstrukčních odlišnostech. Tepelné čerpadlo coby netradiční elektrický spotřebič bude porovnáno s chladničkou, jedním z nejrozšířenějších spotřebičů. Rovněž dospějeme k propojení poznatků elektřiny a magnetismu s poznatky termodynamiky.

3.1 TEPELNÉ ČERPADLO

Tepelné čerpadlo patří mezi alternativní zdroje tepla pro vytápění rodinných domů nebo ohřev vody. Jako zdroje tepla je využíváno např. zemské teplo, venkovní vzduch nebo podzemní voda. Je tedy šetrné k přírodě. Jeho nevýhodou jsou vysoké počáteční investice, které mají návratnost až za mnoho let.

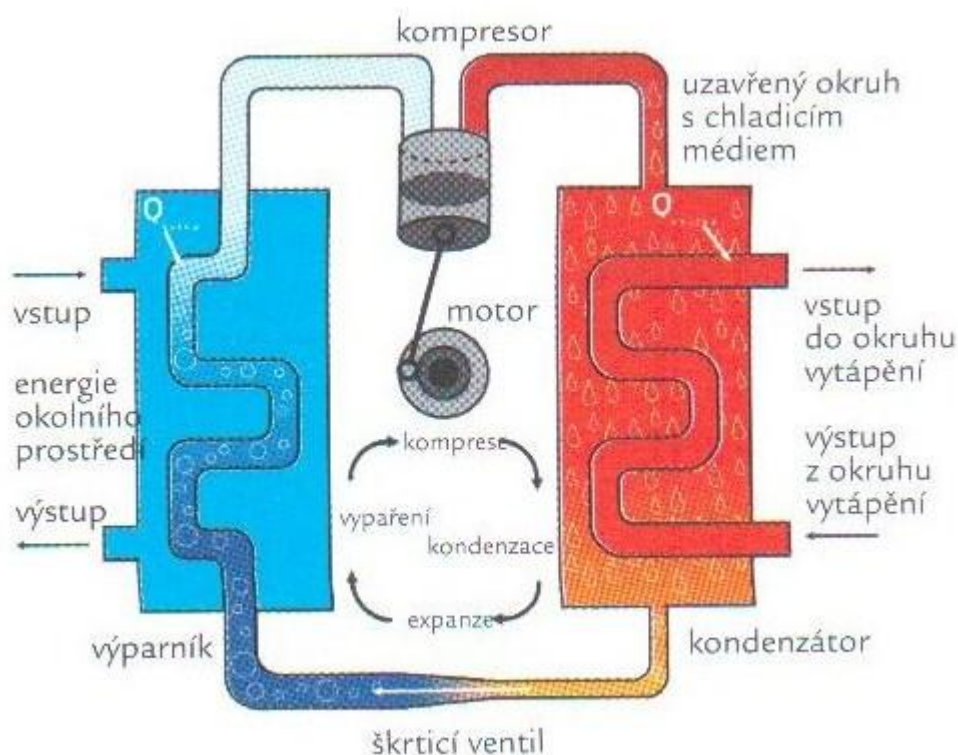
Historie tepelného čerpadla začíná v roce 1852, kdy Lord Kelvin vyslovuje myšlenku druhé věty termodynamiky. Tato věta má několik formulací, ovšem pro tepelné čerpadlo je klíčovou částí tvrzení, že teplo se vždy šíří z teplejšího tělesa na studenější a nikdy ne naopak. Vynálezem prvního tepelného čerpadla je znám americký vynálezce Robert C. Weber. Stalo se tak náhodou při pokusu s nízkými teplotami, kdy zavadil o koncovou část mrazicího potrubí, o kterou se popálil. Tato nečekaná zkušenost ho podnítila k novým experimentům. Pokoušel se kombinovat mrazicí stroj s bojlerem a místo mrazení se začal zabývat ohříváním svého domu. Napadlo jej využít teplo čerpané ze země pomocí zemních kolektorů. Takto sestrojeným tepelným čerpadlem byl příjemně překvapen do té míry, že jím hned příštího roku nahradil starý kotel na uhlí. Upraveno podle [1].

3.1.1 PRINCIP FUNKCE TEPELNÉHO ČERPADLA

„Jak pracuje tepelné čerpadlo? Stejně jako chladnička. Teplo, které chladnička odebírá potravinám, předává do vzduchu v bytě svojí zadní stranou, černou mřížkou. Trvale tak vytápí

naši kuchyni. Představme si nyní kutila, který posadí chladničku do okenního otvoru, dvířky ven a zadní stranou do místnosti. Když nechá dvířka otevřená, bude chladnička celý den chladit venkovní vzduch a topit a topit. Náš kutil tak získal tepelné čerpadlo typu vzduch/vzduch, které mu nepochybně bude nějaký čas fungovat. Skutečná tepelná čerpadla pracují úplně stejně, ale provedení je jiné, uzpůsobené konvenčním požadavkům na bydlení. Ochlazují venkovní vzduch, půdu v okolí domu nebo hluboko pod domem, někdy i podzemní vodu a jiné materiály, z nichž lze získat teplo za „rozumných“ podmínek.“ [2, str. 11]

Tepelné čerpadlo se skládá ze dvou hlavních částí, výparníku a kondenzátoru, které jsou propojeny okruhem s chladicí kapalinou (viz obr. 1). Chladicí kapalina je v okruhu hermeticky uzavřena, neustále v něm obíhá a mění své skupenství. Ve výparníku dochází k přenosu tepla z nízkopotenciálového zdroje tepla na chladicí kapalinu, zatímco v kondenzátoru chladicí kapalina odevzdává část svého tepla okruhu vytápění. Jako chladicí kapalina se používá taková látka, která má natolik nízkou teplotu varu/vypařování, že k jejímu vypařování jí stačí dodat teplo z nízkopotenciálového zdroje tepla. Navíc musí vyhovovat jak z bezpečnostního, tak z ekologického a hygienického hlediska. Nízkopotenciálový zdroj tepla má nízkou teplotu, obvykle kolem 0°C [2] a jako příklad zdroje nízkopotenciálového tepla lze uvést venkovní vzduch, podzemní vodu nebo půdu/zemi. Upraveno podle [1, 3].

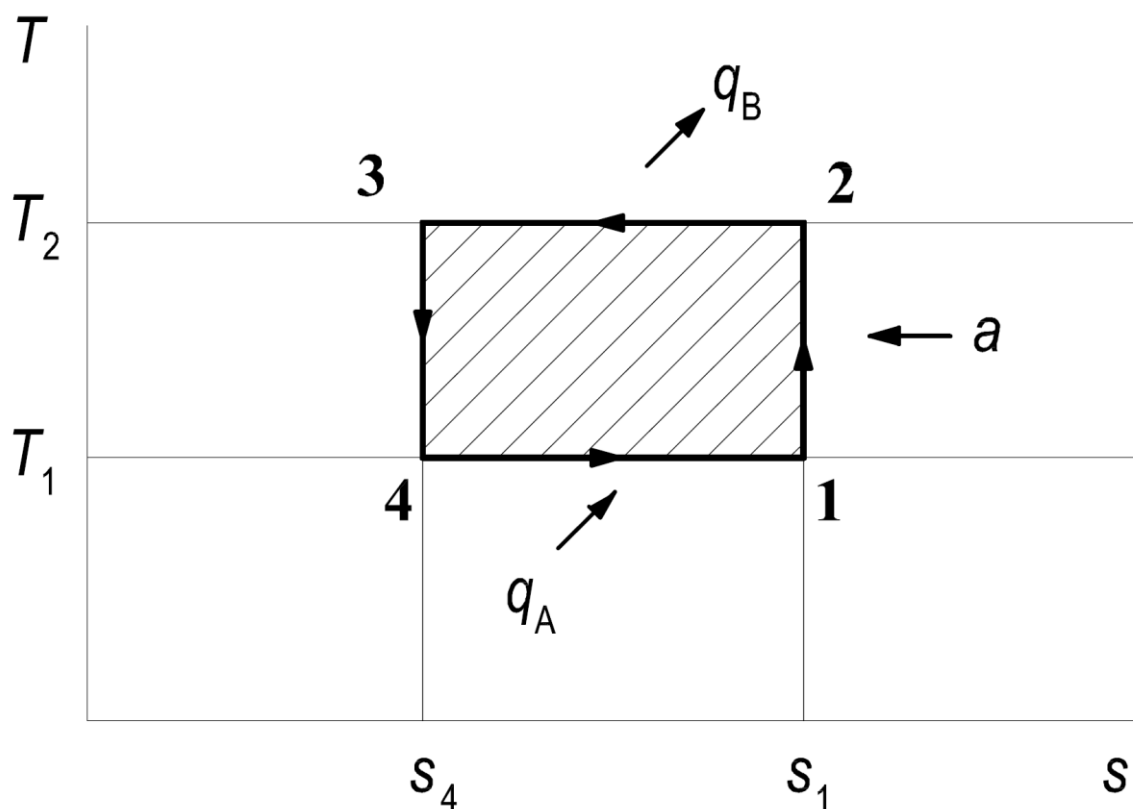


Obrázek 1: Princip funkce tepelného čerpadla. Převzato z [2, str. 70].

Na následujících řádcích je popsán princip funkce kompresorového čerpadla (viz obr. 1), jehož pohonem je elektromotor. Tento typ tepelného čerpadla se v praxi při vytápění rodinných domů objevuje nejčastěji. Teplo dodané nízkopotenciálovým zdrojem tepla se dostává do výparníku, ve kterém předá teplo chladicí kapalině. Chladicí kapalina se vypaří za nízké teploty vlivem nízkého tlaku ve výparníku a nízké teploty vypařování látky. Takto vzniklý plyn je nasán kompresorem, který jej stlačí. Dojde k jevu komprese, kdy stlačením plynu je dodána plynu další energie ve formě práce, což se projeví zvýšením jeho tlaku a teploty. Plyn postupuje dále do kondenzátoru, kde při kondenzaci odevzdá část svého tepla ohřívané látce (topné vodě určené např. pro vytápění domu) a současně plyn zkapalní za stále vysokého tlaku. Dále plyn prochází přes škrticí expanzní ventil, kde díky expanzi dojde k jeho prudkému ochlazení a snížení tlaku na původní hodnotu. Nakonec zkapalněný plyn putuje zpět do výparníku a celý cyklus se opakuje. Vidíme tedy, že se celý cyklus skládá ze čtyř neustále se opakujících dějů. Cyklu teoretického tepelného čerpadla odpovídá Carnotův cyklus (viz obr. 2), zatímco cyklus reálného tepelného čerpadla se blíží Rankinovu cyklu. Zájemci s hlubším zájmem o danou problematiku mohou informace o Rankinově cyklu najít v [4]. [1, 2, 3] Carnotův cyklus je vratný a představuje fyzikální model oběhu s největší účinností. Funkce tepelného čerpadla je popsána levotočivým oběhem. Pravotočivým oběhem by se znázornila funkce tepelného motoru. Neustále se opakujícími ději při Carnotovu cyklu jsou izotermická expanze, izotermická komprese, adiabatická expanze a adiabatická komprese. Při izotermické expanzi (děj 4 – 1) plyn zvětší svůj objem při teplotě T_1 . Současně přijímá teplo q_A od ohřívače, aby nedošlo k poklesu teploty. Děj 1 – 2 zachycuje adiabatickou kompresi, při které je plyn stlačen za současného zvýšení teploty z hodnoty T_1 na hodnotu T_2 . Následuje izotermická komprese (děj 2 – 3), při které je plyn za teploty T_2 stlačen. Vzniklému zvýšení teploty je zabráněno odevzdáním tepla plynu q_B ohřívači. Posledním dějem je adiabatická expanze 3 – 4, při které dojde ke zvětšení objemu plynu a poklesu teploty z hodnoty T_2 na hodnotu T_1 . [4, 15] Nyní přistoupíme k popisu veličin uvedených v grafu a vztahům pro jejich výpočet (vztahy (1) až (5)). Veličinu q_A nazýváme měrné teplo látky A, které uvolnila látka při ochlazení na teplotu T_1 . Lze jej určit podle vztahu (1). Vztah (2) určuje využitelné měrné teplo q_B , které za teploty T_2 přijme ohřívaná látka B. Měrná pohonná energie a je vyjádřena vztahem (3), vycházejícím ze vztahů (1) a (2). Dle vztahu (4) se dá vyjádřit topný faktor ideálního Carnotova oběhu ε_r . Veličinu zapsanou vztahem (5) nazýváme chladicím faktorem ideálního Carnotova oběhu ε_{CH} . [4]

$$(1) q_A = q_{41} = T_1 \cdot (s_1 - s_4)$$

$$\begin{aligned}
 (2) \quad q_B &= q_{23} = T_2 \cdot (s_1 - s_4) \\
 (3) \quad a &= q_B - q_A = (T_2 - T_1) \cdot (s_1 - s_4) \\
 (4) \quad \varepsilon_r &= \frac{q_B}{a} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} \\
 (5) \quad \varepsilon_{CH} &= \frac{q_A}{a} = \frac{T_1}{T_2 - T_1} = \varepsilon_t - 1
 \end{aligned}$$



Obrázek 2: Carnotův cyklus. Převzato z [4, str. 58].

Z hlediska elektřiny a magnetismu nás zajímá kompresor, který je poháněn elektromotorem. V praxi je tento typ pohonu kompresoru tepelného čerpadla velmi častý. Navíc elektrická energie dodaná elektromotoru je položka, kterou spotřebitel musí zaplatit. V praxi patří mezi nejpoužívanější typ kompresoru typ SCROLL, který je tvořen spirálami a vyniká svou životností kolem 20let. Dalšími typy kompresorů jsou kompresory pístové, rotační a šroubové. [2]

Setkáváme se i s označením primární a sekundární okruh tepelného čerpadla. Primárním okruhem je myšlena část tepelného čerpadla uložená v zemi/půdě, sekundárním samotný topný systém. U čerpadel typu vzduch/voda je primárním okruhem míněn ventilátorem poháněný přívod venkovního vzduchu do objektu. [1]

3.1.2 TOPNÝ FAKTOR TEPELNÉHO ČERPADLA

V následujícím textu budeme pojednávat o základním parametru tepelných čerpadel, který udává energetickou efektivitu tepelného čerpadla. Je třeba zdůraznit, že efektivitou nemáme na mysli účinnost. Účinnost je poměr dodané energie a získané energie. Vlivem ztrát je účinnost každého stroje menší než 1, resp. 100 %. [2] Topný faktor ε_r (jiným názvem COP z anglického Coefficient of Performance) je bezrozměrná veličina udávající poměr mezi množstvím vyprodukované tepelné energie a množstvím dodané elektrické energie (elektrické energie dodané kompresoru), tedy mezi výkonem a dodanou elektrickou energií (viz obr. 3). COP lze určit z následujícího vztahu

$$(6) \quad \varepsilon_r = \frac{Q}{E},$$

kde Q je teplo dodané tepelným čerpadlem do okruhu vytápění a E je elektrická energie dodaná pro pohon kompresoru. Obě veličiny mají stejnou jednotku kWh, proto je COP bezrozměrné číslo.[2] Při výpočtu COP se nebere v úvahu teplo získané z okolí, následkem čehož je vždy větší než 1. COP běžně nabývá hodnot v rozmezí 2,5 až 5, v optimálních podmínkách až hodnoty 7. Platí, že čím vyšší je topný faktor, tím větší efektivitu tepelné čerpadlo má. Pro větší názornost uvedu praktický příklad. Tepelné čerpadlo s výkonem 12 kW a spotřebou elektrické energie 3 kW má tepelný faktor $\varepsilon_r = \frac{Q}{E} = \frac{12}{3} = 4$. Při posuzování dvou různých tepelných čerpadel pracujících za stejných podmínek hodnota tepelného faktoru ihned prozradí, které je účinnější a tím pádem i levnější. Představme si modelovou situaci se dvěma tepelnými čerpadly, z nichž tepelný faktor prvního z nich činí např. 4,5 a druhého 3,3. První z nich je účinnější, protože spotřebuje přibližně o třetinu elektrické energie méně než druhé. [1] Je třeba též rozlišovat mezi COP a celkovým COP (viz obr. 4). Při výpočtu celkového COP zohledňujeme krom elektrické energie potřebné pro pohon kompresoru i elektrickou energii nutnou pro pohon ventilátoru a oběhového čerpadla (viz vztah (10)).

Zrádnost vypovídací hodnoty COP spočívá v tom, že závisí na provozních podmínkách tepelného čerpadla. [1] Provozními podmínkami jsou míněny teplota vstupního média a teplota výstupního média (viz graf na obr. 5) [2]. Této skutečnosti často využívají

výrobci tepelných čerpadel při prezentaci svého výrobku, pro který uvádějí vysoký COP, kterého ovšem bylo dosaženo při nereálných podmínkách, např. při teplotě zdroje tepla 20°C a výstupní teplotě 30°C. Další možností, jak zkreslit informace, je neuvést podmínky dosažení COP vůbec. [1] Další nedorozumění ohledně COP čerpadla mohou vzniknout v situaci, kdy mezi sebou srovnáváme tepelné čerpadlo s kompresorem poháněným elektromotorem a tepelné čerpadlo s kompresorem poháněným plynem ve spalovacím motoru. Na první pohled je plynové tepelné čerpadlo se svým COP kolem 1,3 poraženo elektrickým tepelným čerpadlem. Jenomže už na druhý pohled se pozice obracejí. Při výpočtu COP elektrického tepelného čerpadla se totiž nezapočítává účinnost výroby dodané elektrické energie, která se pohybuje jen kolem 29 %. Po započítání této hodnoty se COP rázem snižuje na pouhých 0,6 až 1,2. Celá situace je názorně zachycena na obr. 4 [2], srovnání obou typů čerpadel z hlediska využití primární energie vynikne na obr. 6 a 7. Vztahy (6) až (10) jsou užity v obr. 3 a 4. Vztah (7) vyjadřuje účinnost kotle, vztah (8) účinnost tepelného čerpadla. Topný faktor je vyjádřen vztahy (6), (9) a (10), přičemž vztah (6) udává topný faktor tepelného čerpadla, (9) udává topný faktor kompresorového tepelného čerpadla a (10) vyjadřuje skutečný topný faktor tepelného čerpadla, při kterém je přihlíženo ke spotřebě elektrické energie na pohon ventilátoru a oběhového čerpadla.

$$(7) \eta = \frac{Q}{E},$$

kde Q je teplo a E je vstupní energie získaná z paliva

$$(8) \eta = \frac{Q}{(P+E)},$$

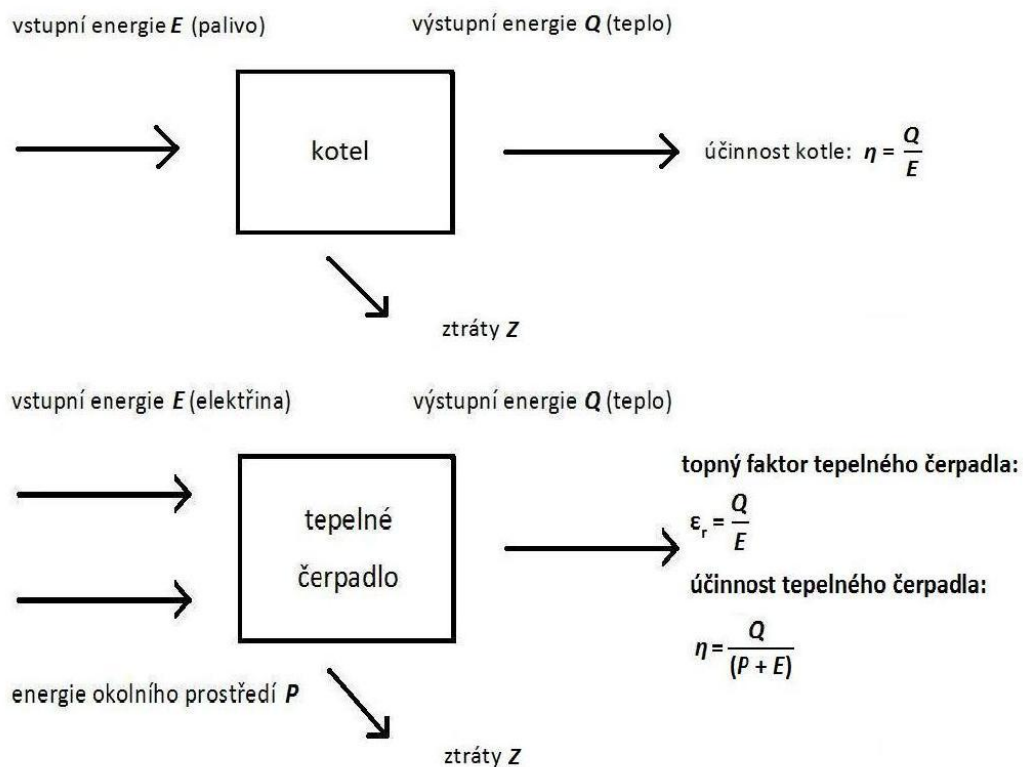
kde P je energie okolního prostředí a E elektrická energie dodaná kompresoru tepelného čerpadla

$$(9) \varepsilon_r = \frac{Q}{E_k},$$

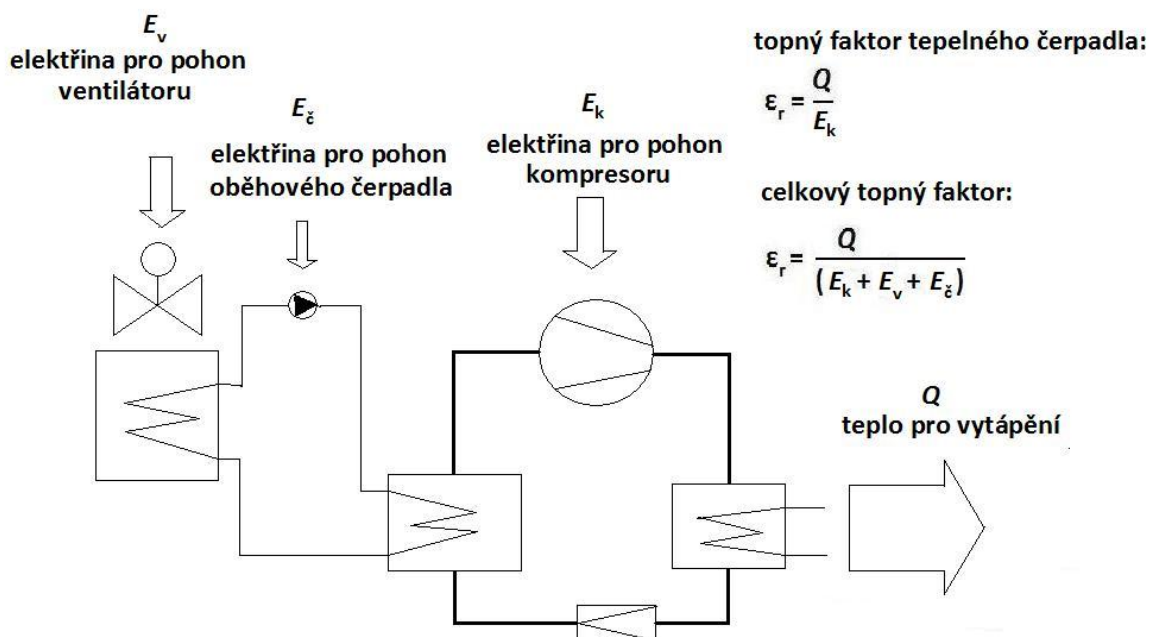
kde E_k je elektřina potřebná pro pohon kompresoru

$$(10) \quad \varepsilon_r = \frac{Q}{(E_k + E_v + E_c)},$$

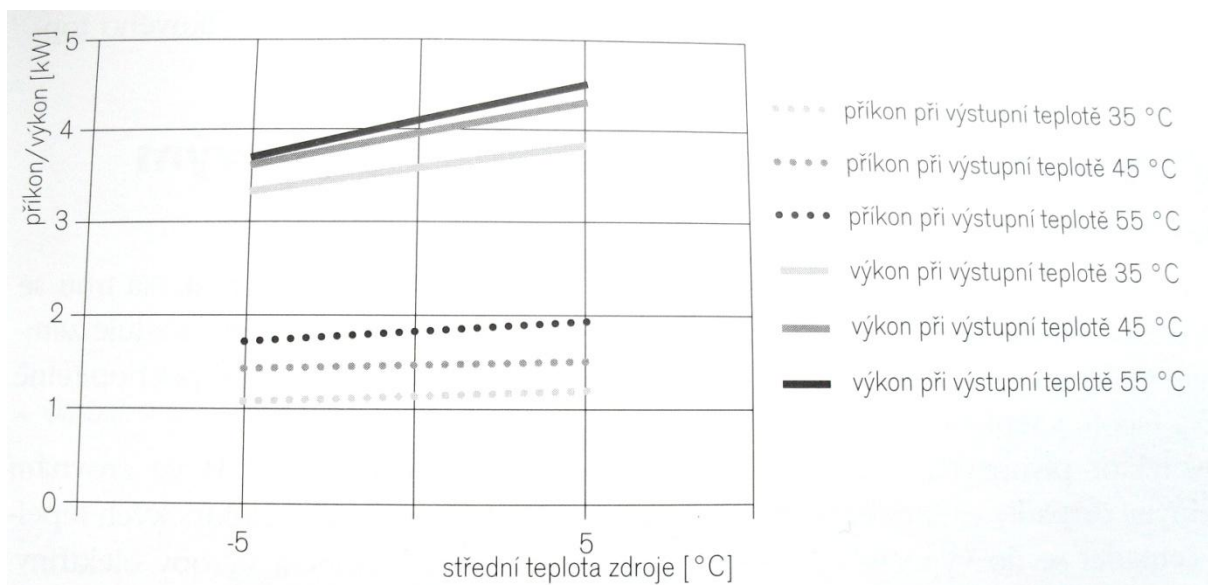
kde E_k je elektrická energie nutná pro pohon kompresoru, E_v je elektrická energie pohánějící ventilátor a E_c je elektrická energie pohánějící oběhové čerpadlo. [2]



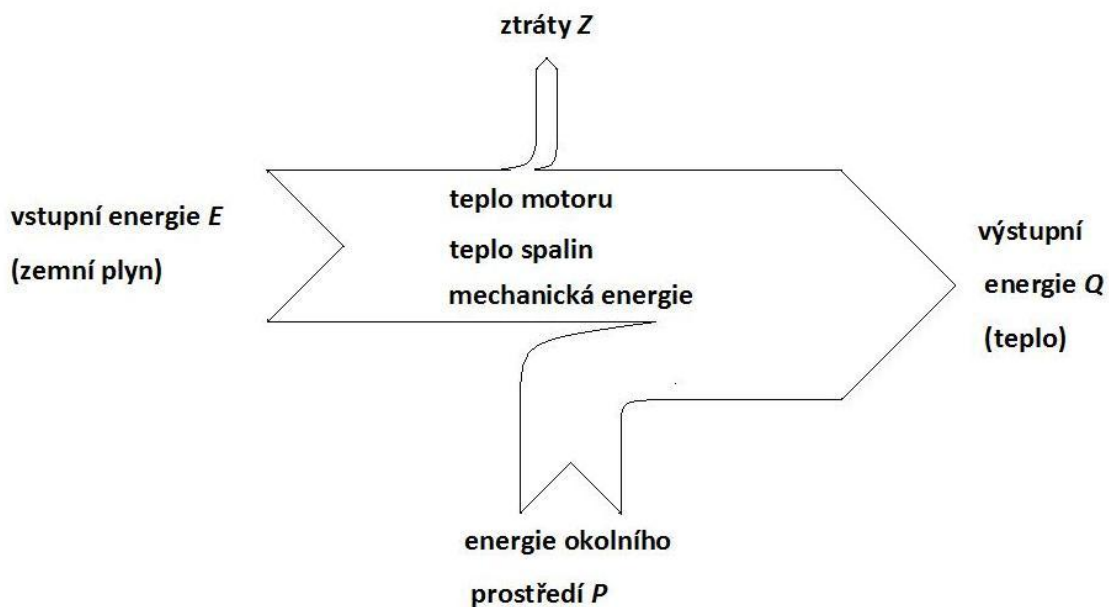
Obrázek 3: Srovnání pojmů účinnost a topný faktor.



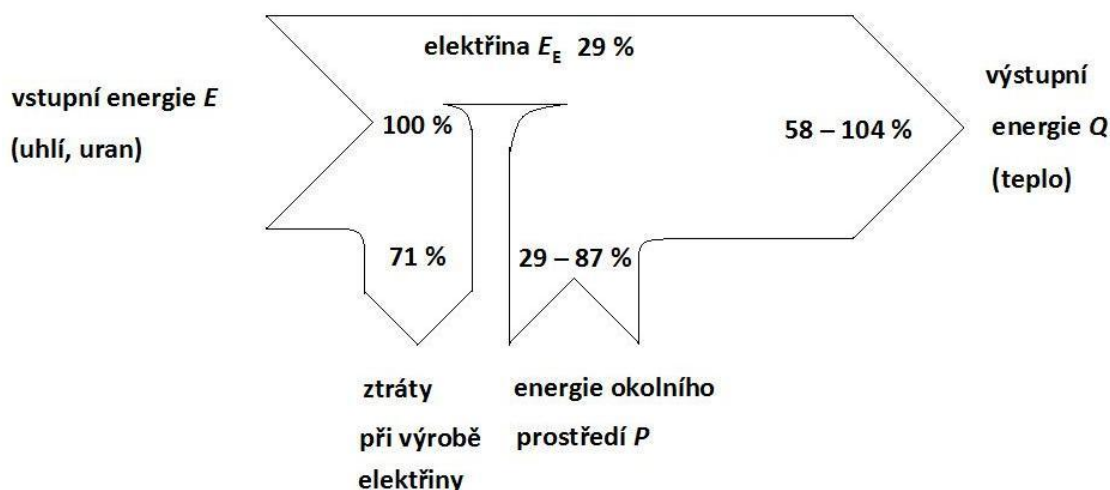
Obrázek 4: Srovnání topného faktoru a celkového tepelného faktoru.



Obrázek 5: *Závislost parametrů tepelného čerpadla na vstupní a výstupní teplotě.*
Převzato z [2, str. 18].



Obrázek 6: *Využití primární energie v plynovém tepelném čerpadle.*



Obrázek 7: *Využití primární energie v elektrickém tepelném čerpadle.*

3.1.3 DRUHY TEPELNÝCH ČERPADEL

V souvislosti s tepelnými čerpadly se často lze setkat s označením země/vzduch, voda/vzduch, vzduch/vzduch apod. Výraz před lomítkem udává zdroj energie pro tepelné čerpadlo, zatímco výraz za lomítkem určuje ohřívané médium předávající teplo vytápěnému objektu. [1] Dalším způsobem dělení tepelných čerpadel je dělení podle jejich nízkopotenciálového zdroje tepla, kterým může být země, voda či vzduch. Zemní zdroje mohou využívat teplo zemského podloží prostřednictvím tzv. geotermálních vrtů, teplo základů budov pomocí energetických pilot nebo teplo vrchních vrstev půdy zemními kolektory. U vodních zdrojů se využívá teplo povrchové vody (nejlépe vodních toků s náhonem nebo rybníků) nebo podzemní vody. Nízkopotenciálovým zdrojem tepla může být i venkovní či vnitřní vzduch. [1]

3. 2 CHLADNIČKA

Dle statistik chladnička nechybí v žádné domácnosti v České republice. Předchůdcem chladniček jsou ledničky využívající přírodní led, které se udržují od poloviny 18. století až

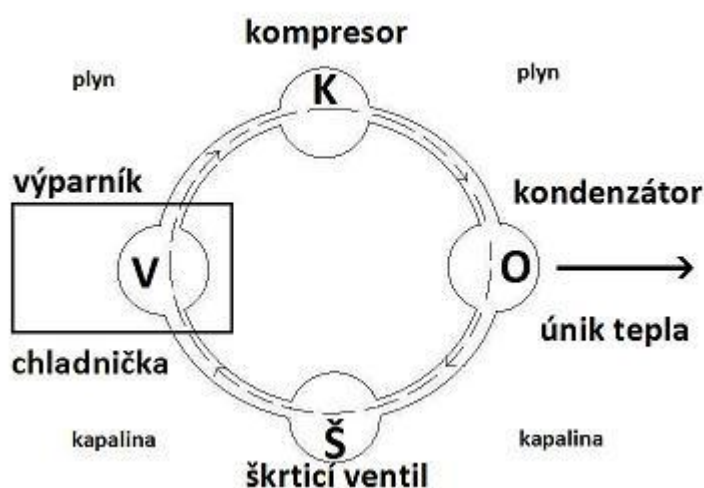
do poloviny 20. století, kde jsou stále využívány zejména pivovary, mlékárnami a hospodami. Dokonalejší nástupce, chladnička, však ledničku vytlačí jednou provždy. Existují tři základní typy chladniček, absorpční, kompresorové a chladničky založené na Peltierově jevu. Roku 1922 Švédové Baltazar von Platen a Carls Muntens přicházejí s patentem absorpční chladničky, který je roku 1925 odkoupen Alexem Wenerem Greenem, zakladatelem později světoznámé značky Elektrolux. Tímto začíná sériová výroba ve švédském městě Motalle. Ve stejné době přichází s výrobou chladniček i Siemens. Po druhé světové válce se na scéně objeví kompresorové chladničky a nad absorpčními chladničkami se začnou stahovat mraky. Kompresorové chladničky totiž mají větší účinnost a výroba méně hlučných a kvalitních kompresorů se zdokonalila. I chladicí kapalina prochází svým vývojem. Neustále se hledala životnímu prostředí neškodná látka, tudíž se od původního čpavku přechází k freonům, následně pak k dalším látkám. Dnes se nejčastěji používá izobutan R600a, který je účinný a bezpečný současně. Upraveno podle [6, str. 7 - 10].

3. 2. 1 PRINCIP FUNKCE CHLADNIČKY

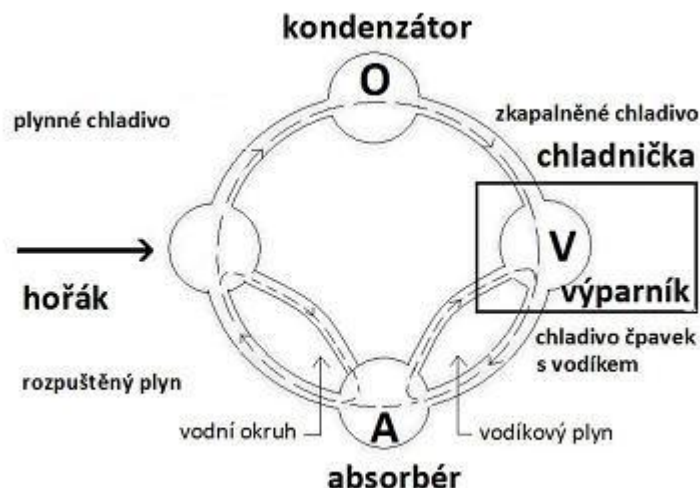
Na následujících řádcích se budeme věnovat principu funkce dvou základních druhů chladniček. Všeobecně můžeme říci, že chladnička pracuje obdobně jako tepelné čerpadlo, kterým jsme se zabývali v předešlých částech této kapitoly. Jediný podstatný rozdíl je v tom, že u tepelného čerpadla využíváme jím získané teplo a u chladničky oceňujeme schopnost odejmout teplo potravinám v ní uloženým. Začneme kompresorovou chladničkou. Funguje jako obrácené kompresorové tepelné čerpadlo (srovnejte obr. č. 1 s obr. č. 13). Chladicí kapalina ve výparníku (V) odebere teplo vnitřku chladničky, následkem čehož se vypaří. Vzniklá pára putuje dál do kompresoru (K) poháněného elektromotorem. Zde dojde k prudkému stlačení a zvýšení tlaku a teploty páry, která se dále dostává do kondenzátoru (O), kde předá část svého tepla a zkapalní. Část tepla se z trubkového roštu kondenzátoru uvolní do chladnějšího prostředí okolo chladničky. Kapalina dále prochází přes škrticí ventil (Š), kde dochází k expanzi, při které se dostává zpět na svůj původní objem a teplotu. Následně kapalina pokračuje zpět do výparníku a celý cyklus se opakuje.

Absorbční chladničky se od kompresorových liší svým tichým chodem, protože v nich není obsažen žádný kompresor, jehož písty by způsobovaly hluk. Místo kompresoru se zde totiž setkáváme s hořákem a absorbérem, které při svém provozu žádný hluk nezpůsobují.

Princip funkce je totiž založen na poznatku, že některé látky (např. voda) jsou schopny na sebe za určitých okolností vázat plyny (např. čpavek, freony) a uvolňovat tím do okolí tzv. kondenzační teplo a za jiných okolností je zase uvolňovat za současného odebrání tzv. výparného tepla svému okolí. Podrobněji je tento proces zachycen na obr. č. 14. Ve vnitřní části chladničky je umístěn výparník (V), ve kterém kapalné chladivo (freon či čpavek) odebírá teplo vnitřku chladničky, čímž ji ochlazuje a sebe zahřívá. Vlivem zahřátí se vypaří a v absorbéru (A) je coby pára pohlceno vodou. Takto vzniklá směs je zahřívána hořákem nebo elektřinou, což způsobí uvolnění chladiva z vody ve formě plynu. Tato horká pára pokračuje dále do kondenzátoru (O), kde předá část svého tepla chladicím žebřům a zkapalní. Zkapalněné chladivo se navrácí zpět do výparníku a cyklus začíná znovu. V kondenzátoru tlak plynného chladiva dosahuje přibližně čtyřnásobně vyšší hodnoty, což je kompenzováno okruhem s vodíkem umístěným mezi výparníkem a absorbérem. Upraveno podle [6, str. 10].



Obrázek 8: *Princip funkce kompresorové chladničky*



Obrázek 9: *Princip funkce absorpční chladničky*

Lze zavést i další dělení chladniček, a to podle typu chlazení. Na následujících řádcích se seznámíme se dvěma základními typy a uvědomíme si rozdíly mezi nimi. Řeč bude o monoklimatickém a dynamickém chlazení. Monoklimatického chlazení je využíváno zejména ve starších typech kompresorových chladniček. Přídavné jméno „monoklimatický“ nám leccos napoví. Chlad z výparníku se šíří staticky z plochy stěny nebo trubek výparníku.

Dynamické chlazení je krokem vpřed, protože spotřebiteli poskytuje větší komfort. Chladný vzduch se z výparníků nešíří staticky, ale je ventilátorem rozháněn a rozváděn skrytým potrubím, které do vnitřní chladničky ústí několika „průduchy“ reagujícími na zavírání či otvírání klapky. Spotřebitel tak může snáz regulovat teplotu uvnitř chladničky. Výrobci chladniček název dynamické chlazení obvykle nahrazují svými vlastními názvy, mezi které patří např. Aerofrost, No Frost, Dynacool nebo MultiFlow.[6]

Chladivo pro chladničky za celou historii vývoje chladniček urazilo mílovou cestu. První typy chladniček byly chlazeny čpavkem nebo oxidem siřičitým. Tato média jsou ovšem agresivní a toxická a tak se hledala jejich náhrada. Freony se zdály v 70. letech 20. století přímo ideální. Název freon je zaveden světoznámým výrobcem chladniček Du Pontem a skrývají se za ním halogenové uhlovodíky, které jsou chemicky stálé a nehořlavé. Označují se též jako R 12 (CFC). Problém nastává v okamžiku, kdy se prokáže nebezpečnost freonů pro

ozonovou vrstvu. Při úniku chladiva je totiž zejména atomy vodíku poškozována ozonová vrstva a dochází ke skleníkovému efektu. Jako slibné řešení nastupují NFC neboli fluorované uhlovodíky bez obsahu chloru označované též jako R 13a. Ukazuje se, že pouze snižují skleníkový efekt. V současnosti se nejčastěji používá izobutan R 600a, který je účinný a bezpečný životnímu prostředí současně. [6]

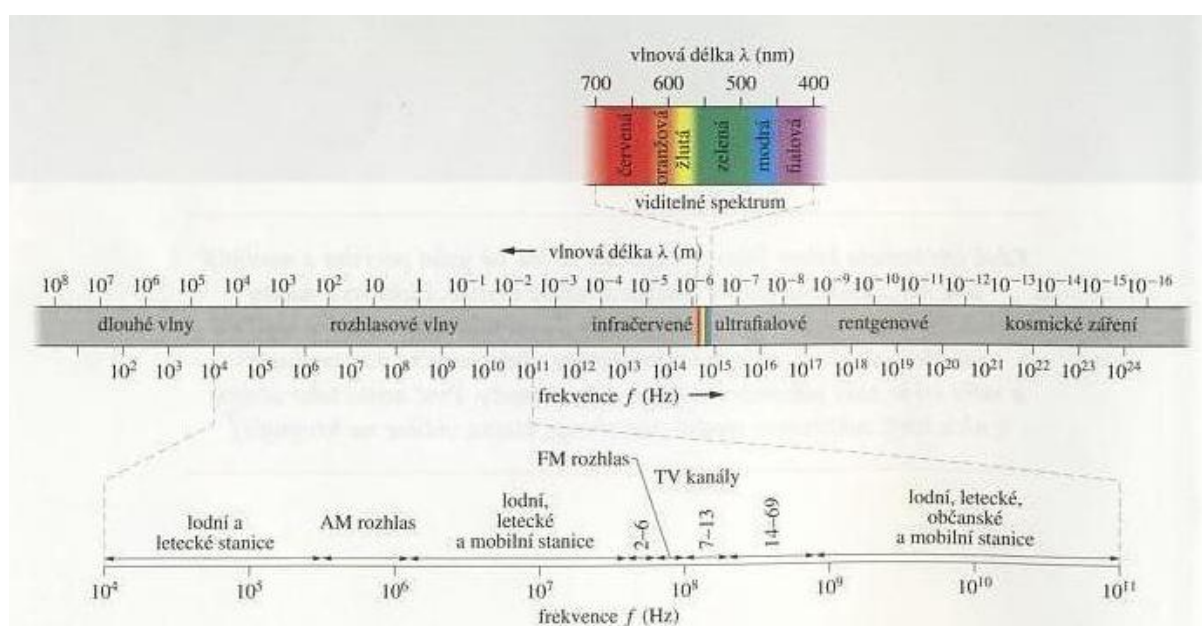
Pokud chceme ušetřit elektrickou energii, měli bychom se držet následujících několika doporučení. Při ukládání potravin do chladničky či mrazničky dbáme na jejich správnou teplotu. Potraviny musejí být vychladlé, protože z chladnoucích potravin přechází do vnitřku chladničky příliš mnoho tepla, na což chladnička reaguje zvětšením výkonu a vyšší spotřebou energie. Navíc se z chladnoucích pokrmů obvykle uvolňuje vlhkost, která kondenzuje na stěnách chladničky a v mrazničkách způsobuje námrazu. Námraza je nebezpečná hlavně pro naši peněženku, protože už 5 mm silná vrstva námrazy způsobí nárůst spotřeby energie až o 75 %. Ze stejných důvodů bychom potraviny měli skladovat v uzavřeném obalu nebo zakryté např. hliníkovou fólií. Dále se držíme doporučení umístit chladničku do místnosti se stálou a nízkou teplotou. Platí, že chladnička v chladné místnosti spotřebuje méně energie než chladnička umístěná v místnosti s vysokou teplotou. Jelikož klimatické poměry na planetě se různí, výrobci chladniček se přizpůsobili a přišli s různými klimatickými třídami chladniček. V tropech jsou na chladničku kladeny odlišné nároky než např. v mírném pásmu. Upraveno podle [6].

4. VARNÉ ELEKTRICKÉ SPOTŘEBIČE

4.1 MIKROVLNNÉ TROUBY

Z učiva střední školy známe rozsah spektra elektromagnetických vln (viz obr. 10). Mikrovlnné záření se svou vlnovou délkou přibližně 12 cm náleží mezi infračervené záření a televizní a rozhlasové vlny VKV. [7]. V mikrovlnných troubách se užívá mikrovlnného záření s vlnovou délkou 12,5 cm [8]. V podobném rozsahu vlnových délek pracuje i radar užívaný ve vojenské technice. Historie mikrovlnné trouby začíná po druhé světové válce při vývoji

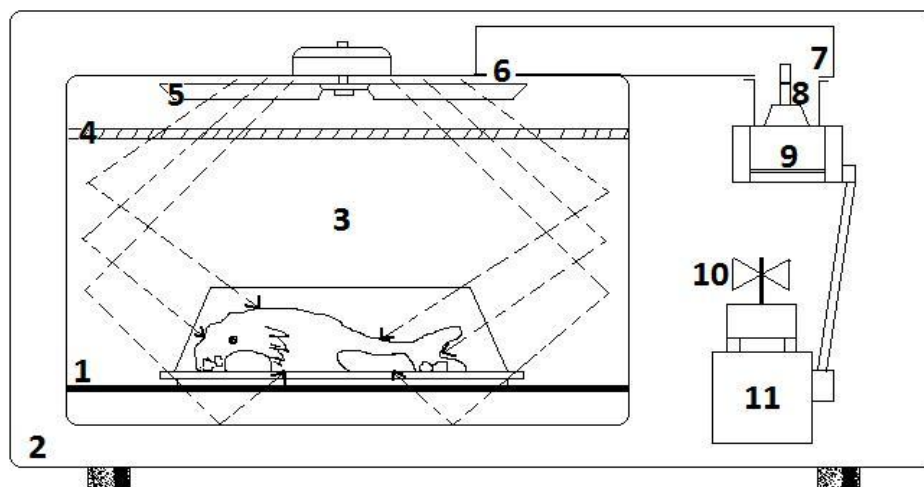
radarů chránící vzdušný prostor Velké Británie. Tak jako mnoho jiných objevů, byl i objev mikrovlnného ohřevu potravin věcí náhody. Stalo se tak roku 1946, kdy Američan Dr. Percy ve své laboratoři pozoruje roztavení bonbónů v kapse svého pláště při experimentech s magnetronem, zdrojem mikrovln. Tento jev jej zaujme do takové míry, že jej úspěšně opakuje s jinými druhy potravin, např. s vejcem či kukuřičnými zrnky, které v blízkosti magnetronu praskají. Odtud je jen krůček k patentu první mikrovlnné trouby, který je rok na to odkoupen americkou firmou Raytheon Company. Společnost rozjíždí sériovou výrobu mikrovlnné trouby určené pro restaurace za horentních 5000 amerických dolarů. Ohřívací komora zařízení dosahuje rozměrů velké šatní skříně, což jsou na dnešní poměry opravdu obrovské rozměry. Navíc je trouba chlazená vodou. Bylo jen otázkou času, kdy se na trhu objeví podstatně menší verze mikrovlnné trouby vhodná do domácností. Roku 1966 přichází firma Siemens na trh s první mikrovlnnou troubou určenou do domácností. Tento převratný krok je umožněn konstrukcí o hodně menších magnetronů chlazených vzduchem. Schopnosti mikrovlnných trub prodělaly značný vývoj. Již se neomezují na pouhé ohřívání pokrmů, ale zvládají i rozmrazování, grilování, pečení a další způsoby běžného vaření. Zpočátku panovaly liché domněnky o škodlivosti mikrovlnných vln, především o údajném nebezpečí způsobení slepoty a sterility. Podobné mýty vznikaly z mylného názoru, že mikrovlny zůstávají v potravinách, se kterými se dostávají do lidského organismu, kde mu škodí. Vědecky se ovšem prokázala neškodnost mikrovln, tudíž hojnému rozšíření mikrovlnných trub do domácností již nic nestálo v cestě. Mikrovlnná trouba v současné době nechybí v 50 % českých domácností, nicméně 80 % uživatelů ji používá pouze k ohřevu potravin. [8]



Obrázek 10: *Spektrum elektromagnetických vln. Převzato z [7, str. 890].*

7. 1. 1 PRINCIP FUNKCE MIKROVLNNÉ TROUBY

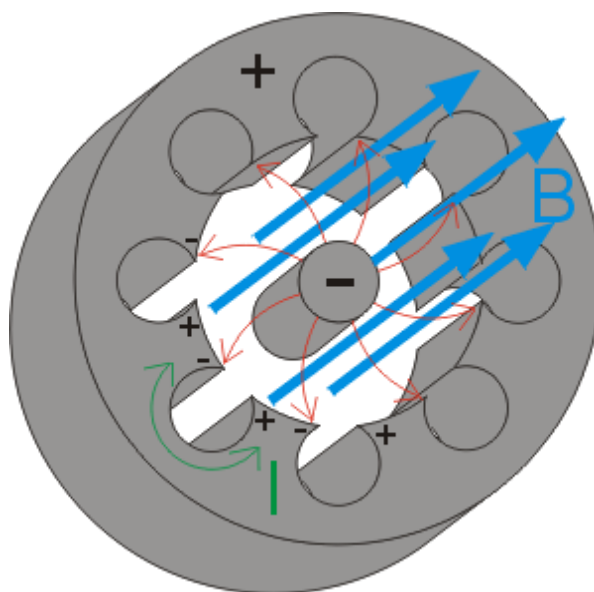
Předtím, než přistoupíme k popisu, jak mikrovlnná trouba pracuje, zmíníme její součásti viditelné při pohledu zvenku (viz obr. 11). Jsou to dvířka (1), skříňka (2), komora (3), strop (4). U většiny nových trub je uvnitř komory umístěn skleněný otočný talíř. Odraz mikrovln od dvířek je zajištěn jemnou kovovou mřížkou. Bylo myšleno i na bezpečnost uživatele, a to automatickým vypnutím zdroje mikrovln při otevření dvířek zapnuté mikrovlnné trouby. Na následujících řádcích popíšeme princip funkce mikrovlnné trouby. Ze zásuvky spotřebitelské sítě je přiváděno napětí 230 V, které je zvyšováno transformátorem (11). Transformátor dodává napětí zdroji mikrovln, magnetronu či inventoru (9). Jak už je zmíněno v úvodu, magnetron je elektronka produkující mikrovlny (elektromagnetické vlnění). Transformátor i magnetron jsou navíc chlazeny vzduchem, který je kolem nich rozháněn ventilátorem. Za minutu se vrtulka ventilátoru stihne otočit přibližně 50krát. Mikrovlny jsou anténou (8) vyzářeny do vlnovodu (7), odkud se dostávají do vnitřní komory mikrovlnné trouby okénkem (6) v jejím stropu (4), do kterého se dostávají přes víříč vln (5), který je tvořen hliníkovou vrtulkou roztáčenou proudem vzduchu od vrtulky ventilátoru. Vrtulka víříče se otáčí se stejnou frekvencí jako vrtulka ventilátoru. Víříč vln má za úkol rozptýlit do různých směrů vlny do vnitřku komory mikrovlnné trouby. Povrch komory mikrovlnné trouby je opatřen lesklou úpravou usnadňující mnohanásobný odraz mikrovln a tím tedy rovnoměrnost působení mikrovln na potravinu. Tento efekt je podporován otočným skleněným talířem. Některé mikrovlnné trouby mají víříč vln umístěn ve spodní části pod dnem komory. V současné době spotřebitelé projevují zájem zejména o mikrovlnné trouby s grilem. Od klasické mikrovlnné trouby, kterou jsme právě popsali, se liší jen dvěma prvky. Ve stropě komory je umístěno těleso grilu. Těleso grilu je složeno z odporových spirál, které plošně vyzařují teplo. Z důvodu umístění tělesa grilu ve stropě trouby musí být okénko či více okének v boku komory. Upraveno podle [8, str. 34, 35].



Obrázek 11: *Složení mikrovlnné trouby.*

Nyní objasníme princip funkce magnetronu a inventoru, zdrojů mikrovln. Vysvětlení se omezí pouze na základní princip, protože podrobný popis by byl příliš komplikovaný. Nejprve zmíníme rozdíl mezi magnetronem a inventorem. „Inventory vyzařují nepřetržitý regulovatelný výkon, zatímco magnetrony pracují s kontinuálním výkonem jen při nastavení plného výkonu a při nastavení nižších stupňů výkonu pracují impulzně – to znamená se střídavým zapínáním a vypínáním. Inventor je při stejném výkonu rozměrově menší, což umožnilo při stejné velikosti spotřebiči zvětšit prostor komory pro ohřívání a vaření. Vysílače jsou vyladěny na kmitočet 2,45 GHz, což znamená, že polarita vln (plus/minus) se u obou zdrojů mění téměř dvaapůlmiliardkrát za vteřinu.“ [8, str. 34] V následující odstavci vysvětlíme způsob, jakým mikrovlny ohřívají potraviny.

Nejprve je třeba uvést, z čeho se magnetron skládá. Je to vakuovaná trubice skládající se z kovového válečku hrajícího roli katody a kolem kterého je anoda tvořená kovovým blokem se sudým počtem komor (štěrbin). Dále je anoda s vrškem trubice spojena kovovým páskem hrajícím roli antény. Trubice je dále obklopena členitými žebry vyrobenými z hliníku zastávajícími funkci chlazení. To vše je umístěno mezi dva silné feritové magnety. [9]

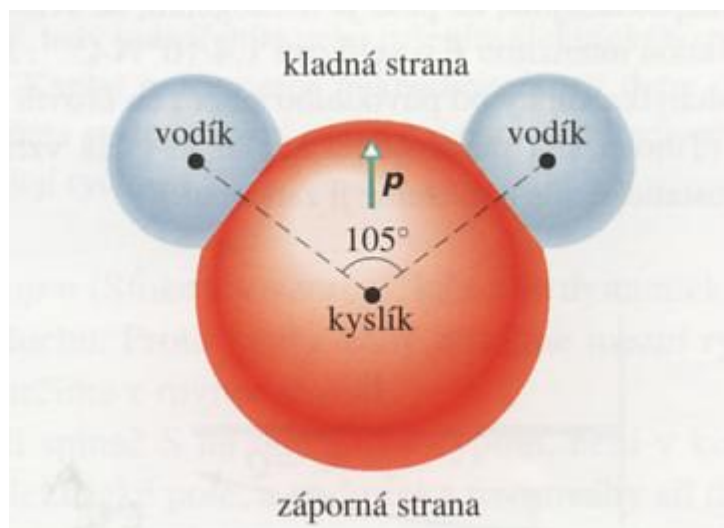


Obrázek 12: *Funkce magnetronu. Převzato z [9, str. 2].*

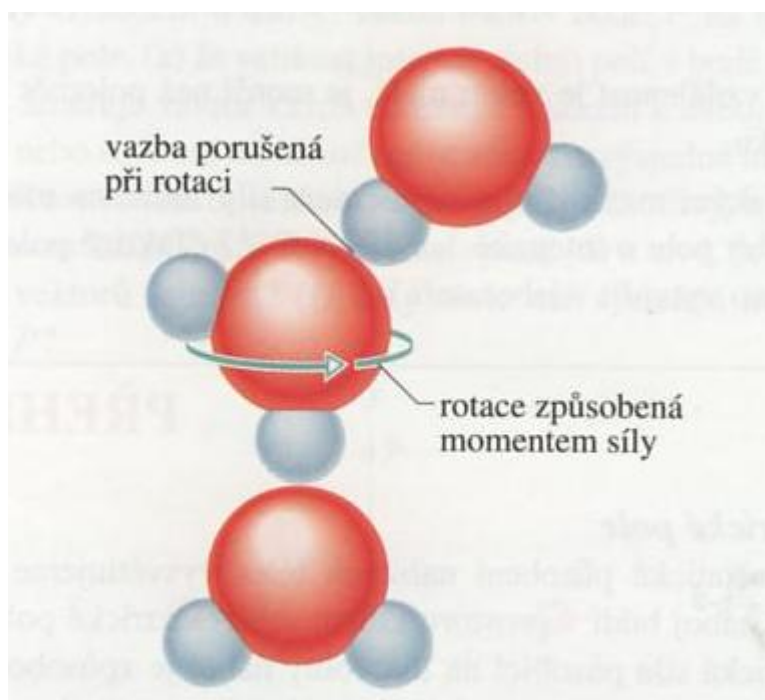
Nyní přistoupíme k základní myšlence principu funkce magnetronu (viz obr. 12). Na střední škole se setkáváme s pojmem Jouleovo teplo, které vzniká průchodem elektrického proudu kovovým vodičem. Tato znalost nyní odstartuje naše pochopení principu funkce magnetronu. Průchodem elektrického proudu katodou dojde k jejímu zahřátí (vznikne Jouleovo teplo). Následkem toho se z katody začnou uvolňovat volné elektrony (termoemise), které jsou přitahovány kladným potenciálem anody. Navíc jsou urychlovány elektrickým polem. V trubici je vytvářeno magnetické pole feritovými magnety. Tímto polem je ovlivňován pohyb elektronů. Magnetické indukční čáry jsou kolmé na směr pohybu elektronů. Důsledkem toho jsou elektrony stáčeny směrem doleva, nejdou tedy přímou cestou od středu k obvodu trubice. Elektrony dopadají na levý cíp kovového výčnělku mezi komorami, čímž levý cíp získává záporný náboj, zatímco pravý cíp kladný náboj. Komory suplují funkci LC oscilačního obvodu. Vodivý vnitřek komory spojující okraje štěrbin má roli cívky. Roli kondenzátoru tvoří štěrbina mezi okraji komory. Jedna deska kondenzátoru (jeden okraj komory) je nabíjen elektrony, čímž se šíří elektrický proud cívkou (kolem komory). „Průchod tohoto proudu vytvoří malé magnetické pole, které potom ve druhé polovině cyklu indukuje opačný proud komorou. V komorách tak vzniká stejně jako v oscilačním obvodu střídavý proud vysoké frekvence (2,45 GHz), který vyvolává elektromagnetické vlnění vysílané anténou do prostoru trouby. Energie odnášená

vyzařováním mikrovln způsobuje vybíjení oscilačních obvodů, které musejí být neustále nabíjeny elektrony z katody.“ [9, str. 2]

Předtím, než se pustíme do objasňování principu mikrovlnného ohřevu, se blíže podíváme na molekulu vody. Molekuly vody, podobně jako molekuly cukrů a tuků jsou ovlivňovány mikrovlnami. Díky tomu jsou látky s obsahem těchto molekul ohřívány mikrovlnami. Ovšem zde je nutno dodat, že u vody je tento efekt mnohem výraznější než u tuků a cukrů. Pokud zkusíme ohřát kousek másla s různým obsahem tuků na talířku a vedle něj sklenici vody a talířek s kostkou cukru, pozorujeme, že nejvíce se ohřívá voda, zatímco máslo se rozpouští pomalu (vlivem zahřátí talířku) a cukr se ohřeje méně než talířek pod ním. Navíc máslo s vyšším obsahem tuků se rozpouští pomaleji než máslo s nižším obsahem tuků. Dále se budeme zabývat jen ovlivněním vody molekulou vody mikrovlnami, protože je mnohem výraznější než u tuků a cukrů. Molekula vody je přirozeným elektrickým dipólem. Z pohledu na obr. 13 je nám jasné proč. Černé body reprezentují jádra atomů a šedé oblasti kolem nich určují místa výskytu elektronů. Molekula vody je tvořena atomem kyslíku a dvěma atomy vodíku. Jádra atomů neleží na přímce, ale spojnice jader atomů vodíku s jádrem atomu kyslíku svírají úhel přibližně 105° . Začíná se tedy objasňovat, proč je atom kyslíku trochu zápornější než atomy vodíku. Když přidáme fakt, že všech deset elektronů molekuly se vyskytuje v blízkosti jádra atomu kyslíku, získáváme jasné rozdělení molekuly na dvě části. Jedna část je tvořena atomem kyslíku a je záporného náboje, zatímco vodíkové atomy tvoří kladně nabitou část. Tudíž ve vnějším elektrickém poli se molekula vody chová jako elektrický dipól s elektrickým dipólovým momentem $\vec{p}$. V případě, kdy na vodu nepůsobí elektrické pole, nastává jednoduchá situace. Molekuly vody se mohou volně pohybovat a seskupovat do skupin tvořených dvěma nebo třemi molekulami. Záporná kyslíková část molekuly přitahuje kladné vodíkové části jiných molekul. Molekuly na sebe vzájemně působí jako malé elektrické dipóly. [10]



Obrázek 13: Molekula vody jako elektrický dipól. Převzato z [10, str. 608].



Obrázek 14: Působení mikrovln na skupinu tří molekul. Převzato z [10, str. 609].

„Při vytváření takových skupin se elektrická potenciální energie dipólů přeměňuje na kinetickou energii chaotického pohybu skupin i jejich okolních molekul. Současně se skupiny rozbíjejí srážkami mezi molekulami a přenos energie probíhá také opačně (energie chaotického pohybu se mění v potenciální energii molekulárních dipólů). Teplota vody (která souvisí se střední kinetickou energií molekul) se tudíž nemění, protože v průměru je výsledný přenos energie nulový.“ [10, str. 609] Nyní se konečně dostáváme k vysvětlení mikrovlnného ohřevu. Pokud vodu vystavíme působení mikrovln v mikrovlnné troubě, zachovají

se molekuly jako elektrické dipóly. Pole mikrovln působí na molekuly elektrickým dipólovým momentem, který se s časem mění a má snahu natočit molekuly do takové polohy, aby jejich elektrický dipólový moment získal stejný směr jako vektor elektrické intenzity pole. U dvoumolekulových skupinek dochází k rotaci molekul kolem jejich společné osy, což nezpůsobí rozštěpení žádné vazby. U třímolekulových skupinek ovšem nastává mnohem zajímavější situace. Zde totiž dochází k porušení aspoň jedné z celkem tří vazeb (viz obr. 14). Upraveno podle [10, str. 609] „Energii potřebnou k rozbití těchto vazeb dodává elektrické pole mikrovln. Molekuly, které se odštěpí ze skupin, mohou vytvářet nové skupiny a přenášet tak potenciální elektrickou energii, kterou právě získaly, do kinetické energie chaotického pohybu. Tuto energii voda získává při vytváření skupin, ale neztrácí ji, když jsou skupiny rozbíjeny (působením elektrického pole mikrovln), proto teplota vody stoupá. Potraviny tedy mohou být uvařeny v mikrovlnné troubě díky ohřívání vody, kterou obsahují. Kdyby molekula vody netvořila elektrický dipól, mikrovlnná trouba by nemohla pracovat. Frekvence mikrovln (2,45 GHz) odpovídá rezonanční frekvenci molekul vody.“[10, str. 609]

4. 1. 2 VARNÉ NÁDOBÍ A POTRAVINY VHODNÉ PRO MIKROVLNNÝ OHŘEV

Do mikrovlnné trouby se smí vkládat pouze nádobí speciálně určené pro mikrovlnné trouby. Materiálem pro nádobí je sklo, keramika, sklokeramika nebo porcelán. Důvod je jednoduchý, nedochází totiž k jejich ohřevu mikrovlnami. Materiály, které mají schopnost pohlcovat mikrovlny, se působením mikrovln ohřívají, zatímco materiály bez této schopnosti ohřívány nejsou. Tohoto faktu je využito při volbě nádobí do mikrovlnné trouby. Toto nádobí bývá ze skla, sklokeramiky, keramiky nebo porcelánu. V určitých případech lze uvažovat i o jiných materiálech, jako je plast nebo papír. Podívejme se nyní na tyto případy. U plastu a papíru musí být splněno, že mají být odolné vůči teplotám ohřáté potraviny, tj. musí snést teplotu nad 120°C. Navíc ne všechny druhy plastů lze použít, protože plasty s obsahem melaminu jsou mikrovlnami poškozovány. Kovy nepropouštějí mikrovlny, proto je jejich vkládání do mikrovlnné trouby krajně nebezpečné. Působením mikrovln totiž u kovu dochází k obloukovému výboji, který vypadá podobně jako blesk. Obloukové výboje mohou vážným způsobem poškodit mikrovlnnou troubu. Je třeba zvýšené opatrnosti, protože nebezpečné jsou i kovové ozdoby v podobě proužků či ornamentů na skle a porcelánu. Dalším kritériem zohledňovaným při výběru nádobí je jeho tvar. Vhodnějším tvarem je kulatý tvar, protože

nemá žádné rohy náchylné k jiskření či výraznému nahřátí během mikrovlnného ohřevu. Lze provést velmi jednoduchý test vhodnosti nádoby do mikrovlnné trouby. Postačí nám k tomu sklenice s vodou a testovaná nádoba. Oba předměty vložíme do mikrovlnné trouby a 60 vteřin ohřejeme na maximální výkon. Pokud je nádoba vhodná do mikrovlnné trouby, je voda ve sklenici horká a nádoba oproti ní chladná. V případě, že se nádoba silně zahřeje, není vhodné ji do mikrovlnné trouby již nikdy umisťovat. Mikrovlny nejvýrazněji ohřívají v hloubce 6 cm od povrchu potraviny. Proto je vhodné potraviny nakrájet na plátky nebo kousky nepřekračující tento rozměr. Navíc je vhodné rozmístit při ohřevu potraviny na talíř podle toho, jak silně je chceme ohřát. Na okraj talíře se kladou silné plátky (je zde silnější ohřev), do středu talíře patří tenké plátky (zde je slabší ohřev). Při ohřevu tekutin se určitá dávka obezřetnosti hodí také. Mikrovlny ohřívají tekutinu současně v celém jejím objemu, tudíž její var není na pohled příliš patrný a můžeme být překvapeni překypěním ať už vody či mléka z nádoby. Určitou prevencí je vložení kovové lžičky do nádoby před začátkem ohřevu anebo po ohřevu a chvilkové ponechání a následné vyjmutí a zamíchání. Tvrdý alkohol nikdy neohříváme, hrozí tu vznícení. Dále je třeba myslet na dostatečný přístup vzduchu k potravíně během ohřevu. Potraviny ve slupkách do mikrovlnné trouby nepatří kvůli riziku následné exploze. Jako příklad takových potravin můžeme uvést ovoce ve slupkách (bobule hroznového vína, kiwi aj.), ryby (mají kůži), vejce (jsou v pevné skořápce), potraviny v hermeticky uzavřených obalech (konzervy, nápoje v kartonech). Ryby, uzeniny atd. je třeba před ohřevem několikrát podélně naříznout. Upraveno podle [8, str. 42, 43].

4. 2 ELEKTRICKÉ VARNÉ DESKY

V následující kapitole se budeme zabývat základními druhy elektrických varných desek používaných v současnosti. Začneme stručným popisem plotýnkových varných desek a sklokeramických varných desek. Svou pozornost soustředíme zejména na indukční sklokeramické varné desky. Důvodem je návaznost na učivo střední školy, zejména pojem elektrické indukce a Foucaultových vířivých proudů. Dalším aspektem je energetická efektivnost 90 %, proto jsou nejúspěšnějším typem elektrických varných desek. Tabulka 1 porovnává jednotlivé druhy varných desek z hlediska energetické efektivity (účinnosti), doby nutné k ohřátí 2 litrů vody a doby nutné k vychladnutí plotýnky a nejmenšího nastavitelného

výkonu. Doba vychladnutí vyjadřuje čas, který uplynul mezi dosažením varu 1 litru vody a jeho ochlazením na 60°C. Upraveno podle [8, str. 19].

Tabulka 1: Porovnání účinnosti, reakce a nejmenšího nastavitelného výkonu varných desek. Převzato z [8, str. 19].

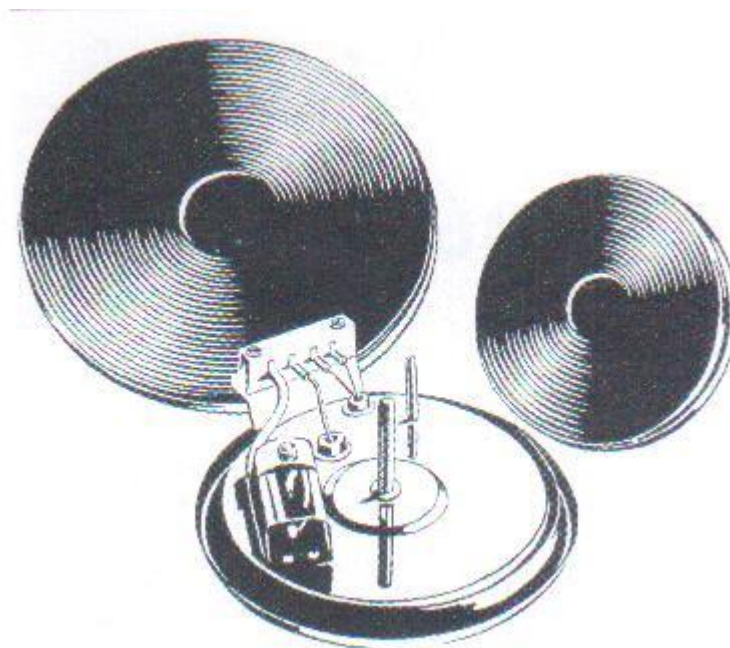
Druh	Energetická efektivnost	Doba dosažení varu 2l vody	Doba vychladnutí	Nejmenší nastavitelný výkon
Plotýnkové	50 - 60 %	15 min	25 min	80 W
Sklokeramické rychlovarné	60 - 75 %	9 min	15 min	50 W
Indukční	90%	5 min	6 min	50 W
Plynové	50%	8 min	14 min	200 W

Při zvažování vhodnosti varné desky je třeba uvážit rozvodnou soustavu v domácnosti, protože většina varných desek jakéhokoli typu vyžaduje třífázovou soustavu 400 V. Jednou z výjimek může být odporová sklokeramická varná deska s třemi varnými zónami, které stačí jednofázová zásuvka 230 V s jističem 20 A. Upraveno podle [8, str. 22].

4.2.1 PLOTÝNKOVÉ VARNÉ DESKY

Díky své příznivé pořizovací ceně se s nimi lze setkat ještě v mnoha domácnostech. Převažují průměry plotýnek 110, 145 a 180 mm. Šesti stupni lze regulovat výkon mezi 160 a 1500 W. Samotná plotýnka bývá vyráběna nejčastěji z nerezové oceli. Další možností je silnostěnný smaltovaný plech tvořící plášť plotýnky (viz obr. 15). Každá plotýnka je vyplněna odporovými dráty stočenými do spirál a uložených v keramice. Regulace výkonu je umožněna postupným přiváděním elektrického proudu do různých úseků spirálovitě tvarovaného drátu. Průchodem elektrického proudu vodičem vzniká již dříve zmiňované Jouleovo teplo. Nastává čtyřnásobný přechod tepla z odporové spirály do ohřívaného pokrmu. Teplo z odporové spirály přechází na keramiku, z keramiky na plotýnku a z plotýnky do dna nádobí a ze dna nádobí k pokrmu. Následkem toho je dlouhá doba nutná k rozehřátí plotýnky a těžko odhadnutelné množství a využitelnost zbytkového tepla po vypnutí plotýnek.

V průběhu přenosu tepla dochází k energetickým ztrátám, kvůli kterým účinnost dosahuje jen 50 až 60 %. Energetické ztráty jsou podporovány ještě ne zcela přiléhajícím dnem nádoby k plotýnce nebo použitím nádoby se dnem menšího průměru než je průměr plotýnky. Upraveno podle [8, str. 19, 20].

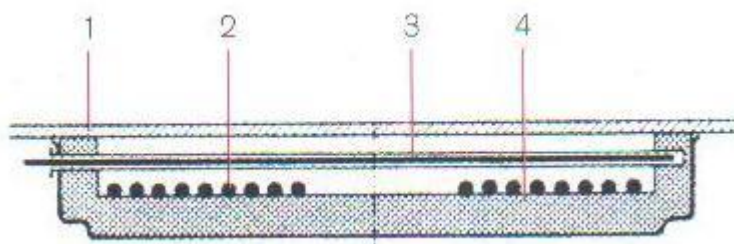


Obrázek 15: *Odporové plotýnky od firmy ETA. Převzato z [8, str. 20].*

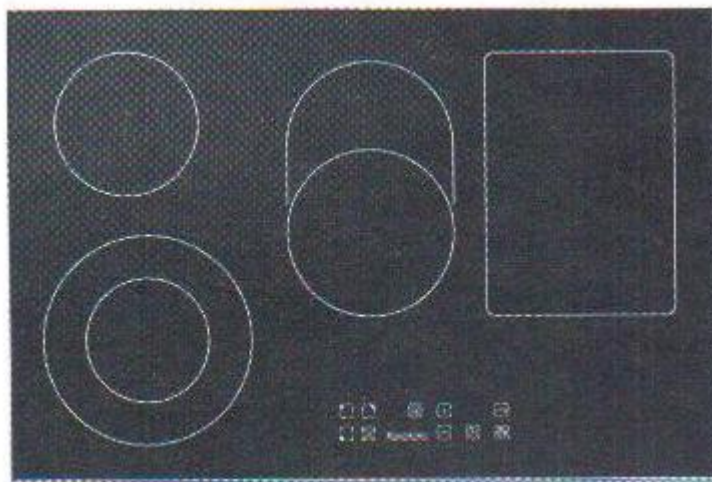
4.2.2 SKLOKERAMICKÉ ODPOROVÉ VARNÉ DESKY

Sklokeramické varné desky jsou na první pohled zcela jasně rozlišitelné od plotýnkových varných desek. Jejich povrch je hladký a lesklý, podobný tmavému zrcadlu. Nyní se seznámíme se složením sklokeramické odporové varné desky (viz obr. 16). Odporové dráty (2) stočené do tvaru spirál jsou umístěny přímo pod sklokeramickou deskou (1) na plášti s tepelnou izolací (4). Sklokeramická deska je silná jen 5 až 6 mm a přímo vede teplo od odporových spirál do dna varných nádob. Mezi odporovými spirálami a sklokeramickou deskou je umístěn termostat (3). Teplo předávané odporovými spirálami vzniká stejným způsobem jako u odporových varných desek. Rozdíl je v přímém předávání tepla odporových spirál přes sklokeramickou desku ke dnu varné nádoby. Důsledkem je krátká doba rozehrívání a chladnutí plotýnky, což podstatně zvyšuje účinnost odporové varné desky. Můžeme se

setkat s jednookruhovými, dvouokruhovými nebo tříokruhovými varnými zónami. Bývají vyznačeny světlými obrysy na tmavé desce (viz obr. 17). Slouží k efektivnějšímu využití tepelné energie, protože se dají ovladačem přizpůsobit počtu a někdy i průměru nebo tvaru varné nádoby. Některé z varných desek pomocí tzv. funkce autofokus samy prostřednictvím senzorů poznají průměr a tvar varné nádoby. Podmínkou je nádoba vyrobená z kovu. Po zapnutí na plný výkon se varná zóna zahřeje na teplotu 600 až 800°C již po několika vteřinách, což se vizuálně projeví zčervenáním plochy. Existují i tzv. rychlovarné zóny (jiným názvem též superrychlá zóna, Hight Speed, Sprintstart aj.), které mají vysoký příkon 1200 – 1800 až 2300 W. Nejběžnější čtyřzónové desky vyžadující celkový příkon přibližně 6,2 až 7,4 kW je možno zapojit pouze do třífázové soustavy 400 V. Pomocí dalších funkcí lze regulovat výkon jednotlivých varných zón. U chladných nebo mírně teplých zón lze využít funkci označovanou jako Jet Start, která nastaví varnou desku na maximální výkon a po dosažení námi požadované teploty ji automaticky udržuje. Upraveno podle [8].



Obrázek 16: *Průřez varnou zónou sklokeramické varné desky. Převzato z [8, str. 22].*



Obrázek 17: *Varné zóny vyznačené na široké sklokeramické desce značky Baumatic BF 18.*
Převzato z [8, str. 22].

7.2.3 SKLOKERAMICKÉ INDUKČNÍ VARNÉ DESKY

Ve středoškolském učivu se setkáváme s pojmy elektromagnetická indukce a Foucaultovy vířivé proudy. V následujícím textu je připomeneme a ukážeme jejich praktické využití při indukčním ohřevu potravin, který vyniká svou energetickou efektivitou a časovou úsporností.

Začneme pojmem elektromagnetické indukce. Objevil ji Michael Faraday roku 1831. Jeho cílem bylo dokázat, že se vznikem magnetického pole současně vzniká i elektrické pole. Motivoval jej k tomu Oerstedův pokus, dokazující, že s elektrickým polem vzniká současně i magnetické pole. Po deseti letech usilovné experimentální práce se mu skutečně daří dojít do cíle. Dvě cívky byly navinuty na společné jádro a při průchodu elektrického proudu jednou z nich vznikl elektrický proud i ve druhé cívce. Jeho hypotéza je nyní známa pod názvem Faradayův zákon elektromagnetické indukce, která se dá vyjádřit prostřednictvím vztahu (11). „Zákon elektromagnetické indukce lze vyjádřit takto: Při časové změně magnetického indukčního toku vzniká v obvodu indukované elektromotorické napětí U_i , které závisí jen na rychlosti časové změny indukčního toku Φ_m a nezávisí na tom, jakým způsobem je tato změna vyvolána. Záporné znaménko na pravé straně vyjadřuje tzv. Lenzovo pravidlo: Směr indukovaného proudu v obvodu je vždy takový, že se svým magnetickým polem snaží zabránit změnám magnetického indukčního toku, které jej vyvolávají.“ [11, str. 168]

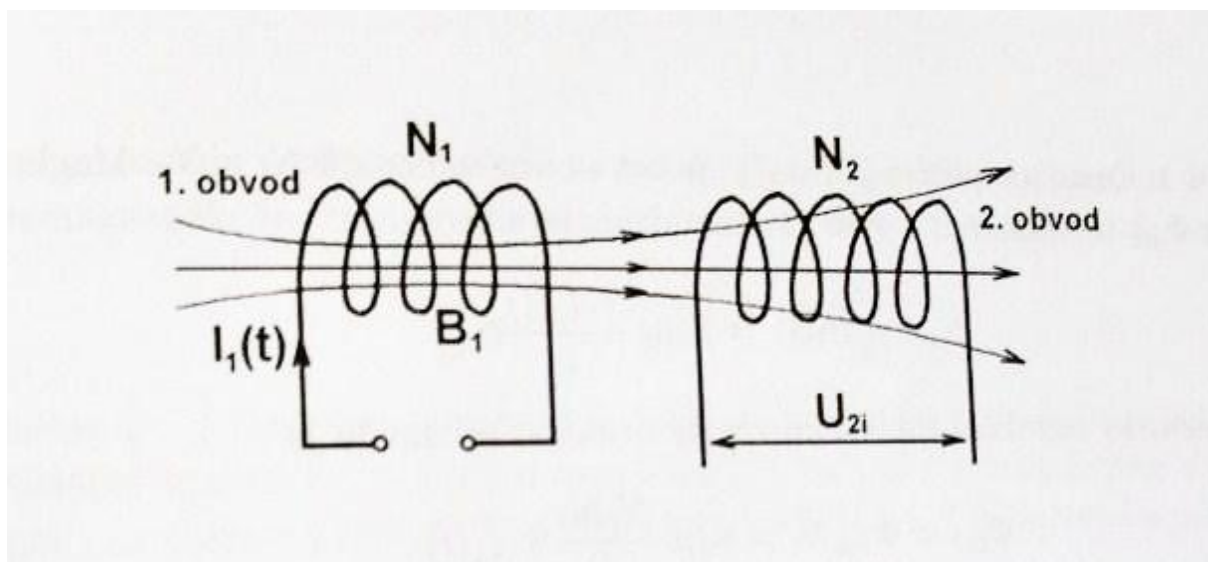
$$(11) \quad U_i = - \frac{d\Phi_m}{dt}.$$

Dále uvedeme jev vzájemné indukce. Dochází u něj mezi dvěma obvody vázanými magnetickým polem. „Prochází-li jedním obvodem časově proměnný proud, vzniká v okolí tohoto obvodu časově proměnné magnetické pole. Pokud alespoň část tohoto magnetického pole prochází plochou druhého obvodu, indukuje se v druhém obvodu elektromotorické napětí.“ [11, str. 168] Na obr. 18 je možno vidět dva obvody s cívkou. První z cívek označíme primární cívka, druhou sekundární cívka. V tomto případě se objevuje induktivní vazba mezi obvody. Podle velikosti indukovaného magnetického pole zasahujícího do vinutí

sekundárního obvodu rozlišujeme volnou a těsnou induktivní vazbu. Volná induktivní vazba nastává v případě, kdy malá část indukčního toku prochází sekundárním obvodem, zatímco u těsné induktivní vazby prochází sekundárním obvodem většina indukčního toku. Vzájemnou indukčnost značíme M a ze vztahu pro její výpočet (12) je možné vidět, že závisí na prostředí mezi obvody, počtech závitů primární a sekundární cívky a vzájemné poloze obvodů.

$$(12) \quad M = \mu_0 \mu_r \frac{N_1 N_2}{l} S,$$

kde N_1 , N_2 označuje počet závitů primární a sekundární cívky, μ_0 permeabilitu vakua, μ_r relativní permeabilitu prostředí, l délku střední kružnice vinutí cívek, S průřez jádra, na němž jsou navinuty cívky. [11, 12]



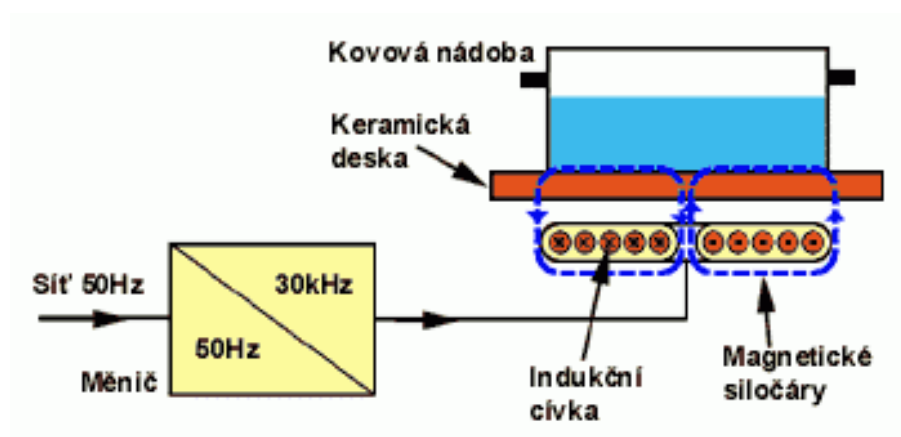
Obrázek 18: Schéma induktivní vazby mezi dvěma obvody. Převzato z [11, str. 169].

„Vířivé proudy vznikají v masivních vodičích, které se pohybují v magnetickém poli, nebo jsou v klidu v časově proměnném magnetickém poli.“ [11, str. 175] Magnetický indukční tok ve vodiči se s časem mění, což vyvolává vznik indukovaných proudů ve vodiči. Tyto proudy jsou označovány jako vířivé, protože není možné určit jejich přesný směr. Lze se setkat s dvěma projevy působení vířivých proudů. U nepohybujícího se vodiče v časově proměnném magnetickém poli dochází k jeho zahřívání. Tato vlastnost je s výhodou využita u indukčních varných desek, zatímco u magnetických obvodů s transformátory je to nevýhoda vedoucí k přehřívání a energetickým ztrátám. Pohybující se vodič v magnetickém poli je zpomalován ve svém pohybu, což je výhoda využívaná u indukčních brzd, zatímco u

elektromotorů je brzdění jejich pohybu na závalu. Pokud chceme omezit vznik vířivých proudů, nesmíme použít masivní vodič. Řešením jsou vodiče z tenkých plechů, které jsou navzájem izolovány. Upraveno podle [11, str. 175].

Nyní objasníme princip funkce indukčních sklokeramických desek (viz obr. 19). Navážeme na pojem vzájemné indukčnosti. Primárním obvodem je v našem případě cívka uložená pod sklokeramickou deskou, zatímco sekundárním obvodem je varná nádoba. Ze spotřebitelské sítě je odebíráno napětí o frekvenci 50 Hz. Měnič ho převede na hodnotu 25 – 35 kHz a dodá indukční cívce pod sklokeramickou deskou. Cívkou začne procházet vysokofrekvenční elektrický proud a zároveň se kolem ní vytváří silné magnetické pole. Umístěním varné nádoby na varnou zónu získáváme dva obvody vázané indukční vazbou. Dno nádoby supluje sekundární cívku, kterou prochází indukční tok generovaný primární cívkou. V silném dnu varné nádoby zhotoveném z vodivého a zmagnetizovatelného materiálu dochází ke vzniku Foucaultových vířivých proudů (na obr. 19 jsou značeny přerušovanou čarou). Následkem je ohřátí dna nádoby, které přímo předává tepelnou energii obsahu varné nádoby. Proto jsou energetické ztráty tak nízké a energetická efektivnost indukčních varných desek dosahuje 90 %. Ztráty v indukční cívce a ostatních prvcích se pohybují kolem 4 % a samotná elektronika nespotřebovává více jak 6 % dodané elektrické energie. Další výhodou indukčních varných desek je okamžitá regulace výkonu a rychlost ohřevu. Mezi nevýhody indukčních varných desek počítáme vyšší pořizovací náklady a nutnost používání speciálního nádobí. Jak již bylo zmíněno výše, dno varné nádoby musí být vyrobeno z vodivého a zmagnetizovatelného materiálu, aby v něm mohlo dojít ke vzniku Foucaultových vířivých proudů. Tomuto požadavku vyhovuje např. nádobí z litiny, smaltovaného plechu nebo oceli. Mezi nevhodné materiály patří např. sklo, porcelán, keramika, hliník, teflon či nerez. [12, 13, 8] Varnou nádobu lze podrobit testu vhodnosti použití k indukčnímu ohřevu. Nejjednodušším způsobem je přiložení permanentního magnetu u dna nádoby. Magnet u dna musí držet, protože je na dno nádoby kladen požadavek zmagnetizovatelnosti. Časově mírně náročnější zkouškou je postavení varné nádoby obsahující přibližně 0,2 l vody na varnou zónu zapnutou na maximální výkon. Měli bychom během pár vteřin pozorovat bublinky varu. Pro úsporu elektrické energie je nutné používat nádoby s průměrem dna stejným jako je průměr varné zóny. Samozřejmostí je hladký a rovný povrch dna nádoby. Zvýšenou pozornost je třeba věnovat manipulaci s varnými nádobami, které na varnou zónu opatrně přikládáme. Posunováním by mohly vzniknout škrábance na povrchu varné desky. Uživatelé si musejí dát

pozor též na překypění potravin na plochu varné desky. U všech typů sklokeramických desek překypění pokrmu (zejména s vysokým obsahem cukru) vede k lokálnímu přehřátí varné desky, což může způsobit neopravitelnou prasklinu na povrchu varné desky. [8] Při konstrukci indukčních varných desek bylo myšleno i na bezpečnost uživatele. Dojde-li k vyvaření vody ve varné nádobě a hrozí přehřátí, cívka se automaticky vypne. Totéž se stane i při položení cizího předmětu na varnou desku. Určitou opatrnost musíme zachovávat po vypnutí varné desky. Nedejme se zmást označením „studený ohřev“, který se v souvislosti s indukčními varnými deskami někdy používá. Při indukčním ohřevu se sklokeramická deska samovolně neohřívá, ale přesto chladná nezůstane. Dno varné nádoby totiž zpětně předává desce teplo ohříváné potraviny. Následkem toho po odstranění varné nádoby může být varná zóna velmi horká ještě po dalších přibližně 10 až 15 minut. [13]



Obrázek 19: Schéma funkce indukční sklokeramické desky. Převzato z [13].

5. ELEKTRICKÉ SVĚTELNÉ ZDROJE

Uvádí se, že člověk získává více jak 90 % informací o svém okolí prostřednictvím zraku. Světlo je elektromagnetické záření v rozsahu vlnových délek, které vnímá člověk. Zdrojem světla je takový zdroj elektromagnetického záření, které člověk vnímá zrakem. Zdroje světla lze dělit na přírodní zdroje (např. Slunce) a na umělé. Z umělých zdrojů se

v následujícím textu budeme zabývat elektrickými zdroji světla. [14] Nejprve stručně zmíníme historii osvětlování. Na úplném počátku se využívalo přírodních zdrojů jako ohně, pak umělých, svíček nebo loučí. Následovalo využití plynových a petrolejových lamp. Dalším krokem vpřed byl objev obloukové lampy se samočinnou autoregulací, se kterým přichází František Křižík. Oblouková lampa produkuje světlo za pomoci dvou uhlíkových elektrod, mezi nimiž vzniká obloukový výboj. Františkovi Křižíkovi se podaří svým objevem zamezit postupnému uhořívání uhlíkových elektrod. [15] Dalším stupněm vývoje je žárovka vynalezená T. A. Edisonem roku 1879 a po ní pak halogenová žárovka, se kterou roku 1959 přicházejí Zubler a Mosby. [16, 17] Vývoj se však nezastavuje ani pozdějším vynálezem kompaktní zářivky a LED zářivky. Elektrické zdroje světla lze rozdělit do tří hlavních skupin podle způsobu vzniku světla, jsou to teplotní, výbojové a luminiscenční zdroje. U všech jmenovaných zdrojů světla je využito elementární částice, jejímž vybuzením vzniká světlo. Zdroje se liší se pouze způsoby užitými k vybuzení částice. U teplotních zdrojů elektrický proud prochází pevnou látkou (kovem), při čemž vznikne Jouleovo teplo, které má za následek zahřátí vodiče do takové míry, že tepelný pohyb částic představuje budící energii. Částice schopné vybuzení přijímají budící energii, díky níž se mění v elementární světelné zdroje. Elementárním světelným zdrojem máme na mysli předmět či povrch předmětu, který svítí na základě přeměny energie probíhající přímo v něm. Zmiňovaná pevná látka (např. wolframové vlákno žárovky) pak vydává světlo se spojitým spektrem vyzařování. V této kapitole se budu zabývat dvěma zástupci teplotních zdrojů, obyčejnou žárovkou a halogenovou žárovkou. Výbojové zdroje světla (označovány též jako výbojky) využívají šíření elektrického proudu v plynech a parách kovů. V textu se budeme zabývat jejich zástupcem, kompaktní zářivkou. Upraveno podle [16].

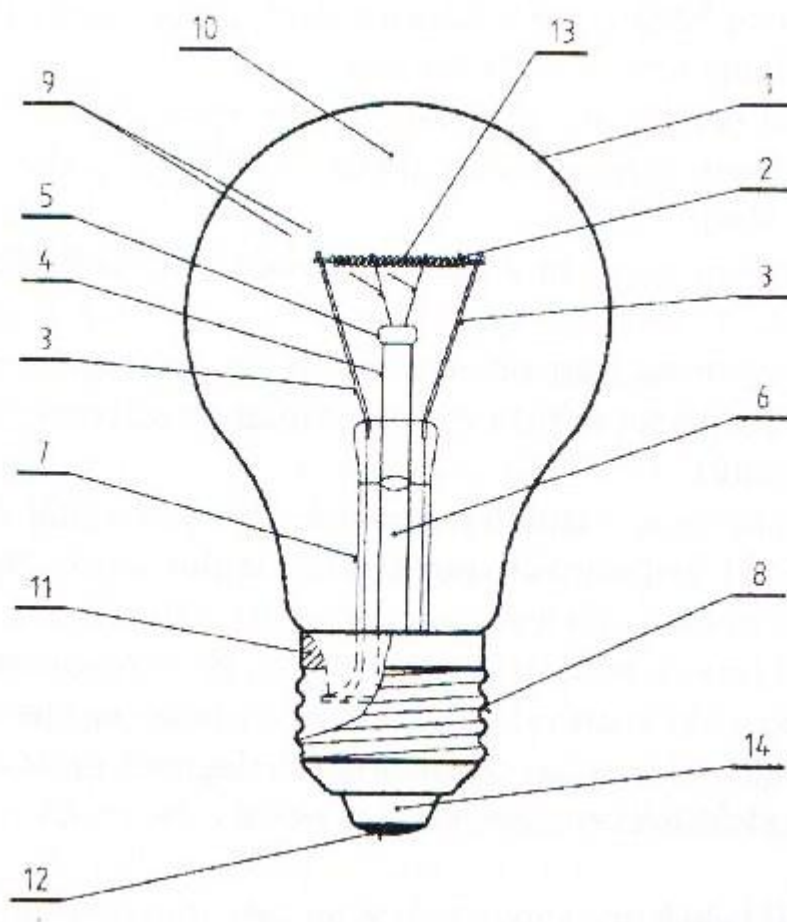
5.1 TEPLOTNÍ ELEKTRICKÉ SVĚTELNÉ ZDROJE

Teplotní světelné zdroje jsou založeny na nahřívání těles. Zdrojem světla je rozžhavené tuhé těleso. Pod pojmem teplotní zdroje jsou zahrnuty jak plamenové zdroje (např. oheň, svíčky, petrolejové lampy), tak i žárovky. Zatímco u plamenových zdrojů jsou primárními zdroji tepla rozžhavené částice uhlíku, u žárovek je to wolframové vlákno rozžhavené průchodem elektrického proudu. [16] V následujících dvou podkapitolách se

seznámíme s obyčejnou žárovkou a halogenovou žárovkou, které jsou jedny z nejznámějších zástupců teplotních zdrojů.

5.1.1 OBYČEJNÁ ŽÁROVKA

Počátek historie vývoje žárovek se datuje do roku 1879, kdy T. A. Edison přichází se zuhelnatělým bambusovým vláknem umístěným ve vakuu. Jeho zařízení vydrží svítit 600 hodin. Pokrok pokračuje, roku 1900 je K. Auerem vyvinuta žárovka s osmiovým vláknem. Dodnes používané wolframové vlákno je zavedeno roku 1906 a žárovka prochází dalšími vylepšeními, když Languir plní baňku žárovky neutrálním plynem a omezí tak vypařování wolframu. Dále stáčí wolframové vlákno do tvaru spirály s malým průměrem. Následkem toho životnost žárovky vzrůstá až na 1000 hodin a zvyšuje se též měrný výkon. Poslední stupeň rozvoje obyčejné žárovky přináší rok 1934, kdy je baňka žárovky naplněna kryptonem a zavádí se dvojitá spirála (wolframové vlákno je stočeno do tvaru dvojité šroubovice). Dalším stupněm vývoje by se daly nazvat halogenové žárovky, o kterých pojednáváme v podkapitole 5. 1. 2. Upraveno podle [17, str. 27].



Obrázek 20: Složení obyčejné žárovky. Převzato z [16, str.113].

V následujícím odstavci uvedeme složení žárovky (viz obr. 20). Hlavními součástmi žárovky jsou skleněná baňka (1) vyrobená z měkkého sodnovápenatého skla. Současně i další skleněné součásti žárovky jsou zhotoveny z měkkého skla, hlavně olovnatého skla. Patří mezi ně čerpací trubička (6), ve které jsou v určené poloze fixovány přívody (3), na kterých je upevněno wolframové vlákno (2). Dalším skleněným prvkem je tyčinka (4), na které je usazena čochka (5), z níž vedou molybdenové háčky (9) podpírající wolframové vlákno. Čerpací trubička a tyčinka jsou obklopeny talířkem (7), který zachovává vakuum kolem přívodů tím, že je spolu s čerpací trubičkou hermeticky oddělí od zbytku baňky. Výplň prostoru baňky (10) je vyčerpána, což je podpořeno použitím getru (13) pohlcujícím zbytky plynů. Getrem označujeme červený fosfor či nitrid fosforu nanesený na úchyty wolframového vlákna nebo na konce přívodů. U plynových žárovek tvoří výplň baňky

žárovky směs plynů kryptonu nebo argonu s dusíkem. Příměs dusíku je použita kvůli zamezení mezizávitového výboje. Talířek a baňka jsou hermeticky uzavřeny a pomocí tmelu (11) zabudovány do patice (8) vyráběné z hliníku či mosazi. Tmel je za vyšších teplot vytvrzován na výrobní lince. Patice podléhá přísným normám. Izolace patice (14) je zhotovena z vitritu. Přívody jsou s paticí spojeny prostřednictvím běžné Sn-Pb pájky (12). Zjednodušeně řečeno se samotná žárovka skládá z elektrického obvodu se žhavicím vláknem. Tento obvod je tvořen přívody a bývá obvykle třídílný, sestávající z vnější a střední části a samotného wolframového vlákna. Vnější část přívodu je vyrobena např. z monelu, slitiny niklu s mědí. V případě přerušení vlákna a následném výboji pracuje jako pojistka. Střední část obvodu je tvořena plášťovým drátem o teplotní roztažnosti stejné jako je teplotní roztažnost talířků. Funkce střední části spočívá v zajištění elektricky vodivého a vakuově uzavřeného šíření elektrického proudu sklem. Poslední část obvodu je tvořena samotným wolframovým vláknem, které je upevněno na koncových částech přívodu vyrobených z poniklovaného železa či niklu. V podstatě je zdrojem světla wolframové vlákno. Je stočeno do jednoduché či dvojité spirály (užívá se též označení šroubovice) [16, 17] a podpíráno háčky z molybdenu. [1, str. 113, 114] Zapnutím spínače např. u lampy začne procházet obvodem v žárovce proud. Nejprve se elektrický proud šíří přívody umístěnými ve vakuu v prostoru ohraničeném talířkem, pak proud projde přívodem ve skle a nakonec projde wolframovým vláknem. Wolframové vlákno se průchodem proudu silně zahřívá až na teplotu 3000 až 3400 K. Wolfram k výrobě vlákna nebyl vybrán náhodně. Wolfram má ze všech kovů nejvyšší teplotu tání 3653 K (3380°C), proto ho lze nažhavit až na 3000 až 3400 K. Následkem toho se částice rozžhaveného wolframového vlákna stává primárním světelným zdrojem. Jak již bylo řečeno v úvodu kapitoly, vydává žárovka záření o spojitém spektru. [16,17] Při průchodu proudu vláknem ovšem dochází k vypařování wolframu. Atomy se vypařují z povrchu wolframové šroubovice a usazují se na chladnější části baňky. Viditelným projevem tohoto procesu je šednutí až černání baňky žárovky, které má na svědomí snížení světelného toku žárovky o 20 až 25 % ke konci jejího života. Též měrný výkon žárovky klesá. Nezanedbatelným důsledkem vypařování wolframu je též vznik “slabých míst” wolframového vlákna, kde je wolframové vlákno po vypaření atomů wolframu ztenčené a křehčí. Při jednom z dalších zapnutí žárovky je wolframové vlákno křehké do takové míry, že při prudkém rozžhavení praskne. Tímto je život žárovky ukončen. [17]

Mezi výhody obyčejné žárovky patří výborné podání barev a velmi jednoduchý provoz a výměna vyhořelé žárovky. Také okamžitý start bez prodlev a nízká pořizovací cena mnohé spotřebitele přesvědčí. Další výhodou je absence rizik pro životní prostředí při likvidaci dosloužilých žárovek, neboť neobsahují zdraví škodlivé látky. Tato výhoda je ovšem vykoupena nutností vyrábět více kusů při krátké době života žárovky. Mezi další nevýhody počítáme především velmi nevýhodnou energetickou bilanci. Přihlíží se též ke snížení světelného toku ke konci života, jak je zmíněno výše. Energetickou účinností máme na mysli účinnost přeměny elektrické energie odebrané ze spotřebitelské sítě na energii světelnou, vnímatelnou lidským okem. Energetická účinnost u vakuových žárovek nabývá hodnoty přibližně 7 % a u plynem plněné žárovky kolem 10 %. Pokud však vezmeme v potaz citlivost lidského oka, klesá hodnota na asi 1,5 až 2 % u vakuových žárovek a přibližně 3 až 4 % u plynem plněných žárovek. Zbylých 96 až 98 % energie představují energetické ztráty. Velikost a přesné rozdělení ztrát je ovlivněno typem žárovky a jejím konstrukčním provedením, ale přibližně lze energetickou bilanci obyčejných žárovek vystihnout následovně: 6 až 10 % dodané elektrické energie (příkonu) je přeměněno na záření ve viditelné spektrální oblasti, 60 až 85 % je využito ke vzniku záření v neviditelné spektrální oblasti, 3 až 8 % energie je odvedeno přívody a 8 až 20 % celkového příkonu je odvedeno plynem (platí pro žárovky plněné plynem). [16]

5.1.2 HALOGENOVÁ ŽÁROVKA

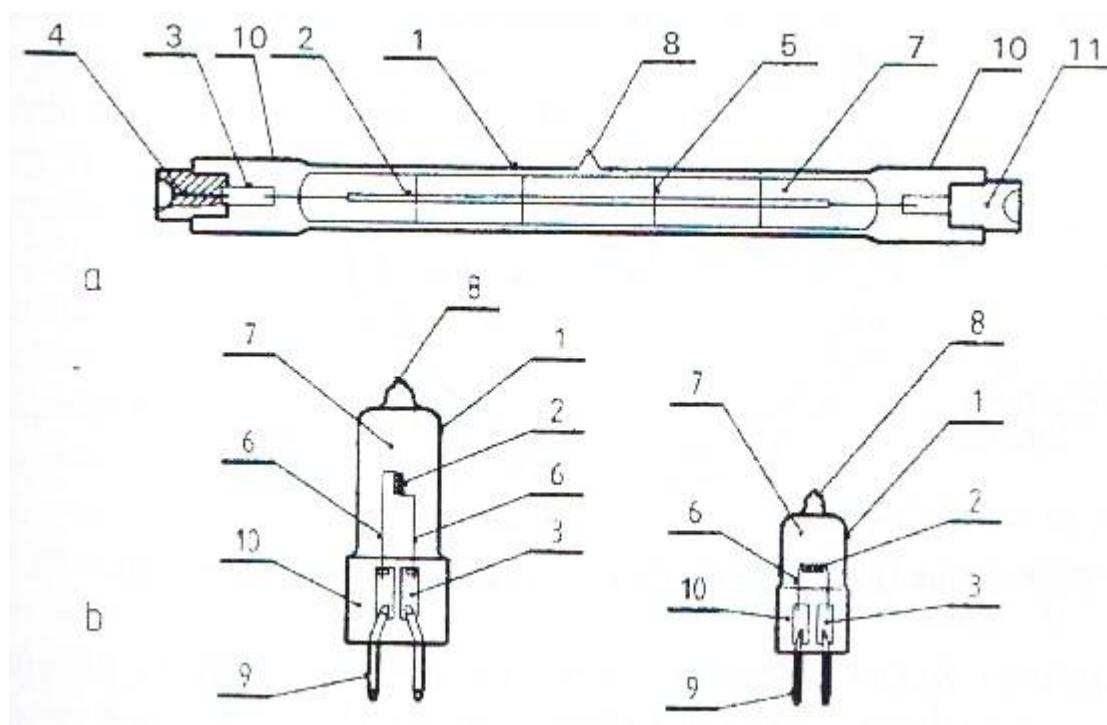
Motivací k vývoji žárovky plněné halogenovým plynem byla snaha omezit vypařování wolframu z vlákna a tím zmírnit pokles světelného toku ke konci života žárovky. S experimenty se začalo hned po zavedení wolframového vlákna do klasických žárovek. Experimentátoři se dlouhou dobu potýkali s problémy při plnění obyčejných žárovek halogenovým plynem, neboť materiál přívodů s plynným halogenem velmi rychle reagoval. Úspěch se dostavuje až roku 1959, kdy Zubler a Mosby přicházejí s žárovkou plněnou plynným jódem. Je založena na halogenovém cyklu představujícím průlom v technologii výroby žárovek. Podstatou objevu je přidání halogenové příměsi (jódu, bromu či fluoru) do plynné směsi vyplňující baňku žárovky. Upraveno podle [16, 17].

Konstrukce halogenové žárovky se podstatně liší od konstrukce obyčejné žárovky, neboť konstrukční prvky nereagují s halogenem. Dále sklo použité k výrobě baňky je

odolnější jak mechanicky, tak i teplotně, protože dalším z cílů bylo dosažení minimální pracovní teploty halogenové žárovky alespoň 250°C. Na obr. 21 můžeme vidět všechny konstrukční prvky. Materiálem k výrobě skleněné vnější baňky je křemenné sklo, tvrdé sklo anebo tzv. “vycor”, což je sklo s vysokým obsahem oxidu křemičitého. Materiálem k výrobě vlákna je wolfram speciálně určený do halogenových žárovek. Vláknem ve tvaru jednoduché či dvojité šroubovice (spirály) je fixováno podpěrkami v ose žárovky. Podle druhu skla užitého k výrobě baňky se využívají dva materiály vakuovaného zátavu do skla. Pro křemenné sklo nebo vycor je využita fólie, zatímco do tvrdého skla je zátav z drátu. Fólie se u křemenného skla (či vycoru) používá kvůli rozdílným hodnotám činitele teplotní roztažnosti molybdenum a křemenného skla (vycoru). Konstrukce svítidla vhodného k použití halogenové žárovky musí splnit podmínku teploty spoje molybdenové fólie a molybdenového přívodu alespoň 350°C. Při splnění této podmínky život halogenové žárovky dosahuje předepsaných hodnot. Nerespektováním podmínky dojde k oxidaci molybdenu a zvýšení objemu tohoto oxidu. Následkem je prasknutí stisku doprovázené koncem života halogenové žárovky. [16] “Plynnou náplň tvoří obvykle krypton, méně často xenon a sloučenina halogenu, např. methyljodid, methylenbromid apod. Patice je keramická nebo kolíková z niklu, v některých případech s povlakem zlata.” [16, str. 118]

Zatímco klíčovým procesem u žárovky bylo vypařování wolframu z vlákna, u halogenové žárovky se objevuje neméně důležitý další proces. Tímto procesem je termochemická transportní reakce wolframu s halogenem. Pro dosažení našeho cíle, tj. pochopení základní myšlenky halogenového cyklu, však plně postačuje následující zjednodušené vysvětlení. Reakce i halogenové sloučeniny používané u reálných halogenových žárovek jsou totiž mnohem komplikovanější. [16] Díky této reakci se zmírní rozsah jevu popsaného u obyčejné žárovky, kdy se z rozžhaveného wolframového vlákna uvolňují atomy, které dále kondenzují na vnitřní straně stěny baňky. U halogenové žárovky ovšem nastává změna. Tento rozdíl si vysvětlíme na příkladu příměsi bromu. Při zapnutí žárovky dojde k rozžhnutí wolframového vlákna. Následkem toho se z wolframového vlákna začnou vypařovat atomy wolframu, které v blízkosti baňky o teplotě 800 K reagují s bromem za vzniku bromidu wolframu. Díky gradientu koncentrace bromid wolframu difunduje zpět k wolframovému vláknem rozžhavenému na 3000 K, kde se rozloží na wolfram a halogen. Prostřednictvím uvolněných atomů wolframu dojde ke zvýšení tlaku wolframových par v blízkosti wolframového vlákna. Tímto se omezí vypařování atomů

wolframu z vlákna. Bromid se uvolňuje v plynné formě, připravený k dalšímu slučování s wolframem. Oproti fluoru mají jód i brom určitou nevýhodu. Jodid wolframu i bromid wolframu se usazují na chladnějších částech vlákna, čímž dochází ke ztenčování vlákna v jeho nejžhavějších částech a následnému přerušení a ukončení života žárovky. Fluorid wolframu se oproti jodidu a bromidu začíná štěpit až při teplotě 3000 K, která nastává na nejžhavějších částech wolframového vlákna. [17, 16] Výsledkem reakce je mnohem mírnější kondenzace vypařených atomů wolframu na baňce. Tmavnutí baňky je tudíž mnohem méně výrazné a světelný tok klesá jen o 5 % původní hodnoty. Dalším důsledkem je delší život vlákna a tím i celé halogenové žárovky. Život halogenové žárovky trvá přibližně dvakrát déle než život obyčejné žárovky, přičemž svítivý tok je o 30 % vyšší než u obyčejné žárovky. Život žárovky je ukončen stejným způsobem jako život obyčejné žárovky. Zajímavým praktickým aspektem je vliv častého zapínání a vypínání halogenové žárovky na délku jejího života. V tomto ohledu se velmi obtížně provádějí výzkumy se statisticky spolehlivými výsledky, nicméně častým zapínáním halogenové žárovky na plný výkon zvláště ke konci jejího života dochází k zvýšenému namáhání wolframového vlákna a k jeho přerušení. Negativní důsledky častého zapínání halogenové žárovky lze částečně omezit užíváním režimu stmívání, kdy halogenová žárovka po zapnutí pracuje na menší hodnotu výkonu a postupně jej zvyšuje až na maximální. Upraveno podle [16].



Obrázek 21: *Konstrukce halogenové žárovky, a) dvoustisková žárovka, b) jednostisková žárovka. Převzato z [16, str. 117].*

1 – baňka, 2 – wolframové vlákno, 3 – molybdenová fólie, 4 – molybdenový vnější přívod, 5 – podpěrka, 6 – koncečky vlákna, 7 – plynná náplň, 8 – odpalek čerpací trubičky, 9 – kolík, 10 – stisk, 11 – keramická patice.

Mezi výhody halogenových žárovek ve srovnání s obyčejnými žárovkami patří zejména jejich vyšší energetická účinnost, která dosahuje hodnoty přibližně 7,7 %. Tato hodnota udává množství dodané elektrické energie přeměněné na viditelné světlo a je zhruba o 50 % vyšší než u obyčejných žárovek. Současně je výrazně nižší než energetická účinnost u zářivek a výbojek. Další výhodou oproti obyčejné žárovce i zářivce je lepší podání barev, což je výhodná vlastnost hlavně při osvětlování interiérů. [17] Nevýhodou halogenových žárovek je mimo jiné i vyšší pořizovací cena.

5.2 VÝBOJOVÉ ZDROJE

V učivu středoškolské fyziky jsme se setkali s šířením elektrického proudu v plynech. Nabyté znalosti nám poslouží k objasnění a pochopení funkce vybraného zástupce výbojových světelných zdrojů, kompaktní zářivky. Princip funkce výbojových světelných zdrojů spočívá ve využití elektrických výbojů v plynu nebo parách určitého kovu. Elektrická energie se průchodem proudu plynem mění v energii kinetického pohybu elektronů plynu. Dochází ke srážkám s atomy plynů a kovových par, během kterých se jejich energie přemění v optické záření s čárovým spektrem. Čárová spektra výbojových světelných zdrojů se různí podle použité plynné náplně baňky a druhu výboje. U některých druhů světelných zdrojů se navíc setkáváme s luminiscencí. Takové světelné zdroje nazýváme luminiscenčními. Jejich zástupcem jsou zářivky. V následujícím textu se budeme zabývat konkrétním zástupcem zářivek, kompaktní zářivkou (viz obr. 22). [16]



Obrázek 22: *Kompaktní zářivka*

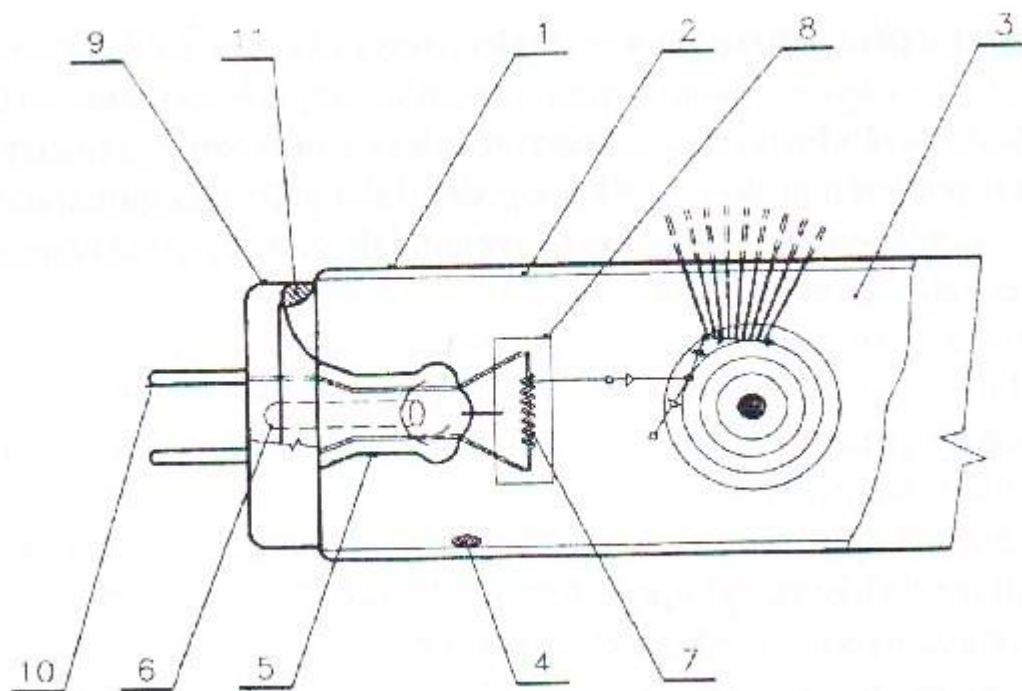
Kompaktní zářivky jsou speciálním typem zářivek. Spotřebiteli bývá nesprávně označována jako “úsporná zářivka”. Předtím, než přistoupíme k objasnění principu funkce kompaktních zářivek, zopakujeme si potřebné základní poznatky ze střední školy o vedení elektrického proudu v plynech a o luminiscenci pevných látek. “Průchod elektrického proudu plynem nazýváme výbojem v plynu. Za normálních podmínek jsou čisté plyny velmi dobrými izolanty, např. atmosférický vzduch obsahuje v 1 cm^3 jen asi 10^3 iontů, které vznikají vlivem radioaktivního a kosmického záření.” [11, str. 118] Pro šíření elektrického proudu v plynech je třeba vyvolat vznik elektricky nabitých částic, nositelů proudu. V plynu jsou nositeli proudu kladné a záporné ionty a volné elektrony. Jejich vznik je podmíněn působením ionizačního činidla z vnějšího prostředí. Mezi příklady ionizačního činidla mimo jiné patří zvýšení teploty nebo působení ultrafialového, rentgenového nebo radioaktivního záření. Působením ionizačního činidla dochází k ionizaci, při které je jeden či více elektronů odtrženo z atomu plynu. Následkem toho vznikají kladně nabití ionty a záporně nabití volné elektrony. Záporně nabitý iont vzniká přidáním volného elektronu k neutrálnímu iontu. Kladně a záporně nabití částice vznikají vždy v párech, tudíž je jejich počet stejný jako počet ionizovaných atomů či molekul. Při ionizaci musí být splněna podmínka dodání ionizační energie. Ionizační energií je míněna nejmenší hodnota energie potřebná k odtržení elektronu z atomu plynu. Obvykle dochází k odtržení nejslaběji vázaného elektronu. Kromě ionizace v plynu dochází současně k rekombinaci. Rekombinace je proces opačný k ionizaci, při kterém se z kladného iontu a volného elektronu stává neutrální atom a ze záporného iontu a kladného iontu vzejde neutrální molekula. Rychlost rekombinace je přímo úměrná koncentraci kladných a záporných iontů v plynu. [11] “Působí – li v plynu elektrické pole ($\vec{E} \neq 0$),

nastává další úbytek iontů při výboji v plynu tím, že ionty jsou přitahovány k elektrodám, kde odevzdají svůj náboj a stanou se neutrálními atomy nebo molekulami. Tomuto procesu říkáme neutralizace iontů.” [11, str. 120]

Kompaktní zářivka se řadí mezi zvláštní druh zářivek. “Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky, v nichž se ultrafialové záření výboje transformuje vrstvou luminoforu na viditelné světlo.” [16, str. 121] Účinnost zářivky a složení spektra vyzařovaného zářivkami lze ovlivnit volbou druhu použitého luminoforu. Zářivky patří mezi světelné zdroje s dobrým podáním barev (index podání barev přesahuje hodnotu $R_a = 80$), vysokou účinností a měrným výkonem přesahujícím 100 lm.W^{-1} . Zářivky získaly tyto vlastnosti díky novým typům luminoforů a též zlepšením podmínek, za kterých vzniká výboj v parách rtuti. Upraveno podle [16].

Kompaktní zářivka se podobá obyčejné žárovce o výkonu 25 až 200 W svými geometrickými vlastnostmi, světelným tokem a podáním barev. Světelný tok kompaktní zářivky nabývá hodnot v rozmezí 450 až 3200 lm, měrný výkon se pohybuje mezi 50 až 80 lm.W^{-1} . Oproti obyčejné žárovce vyniká delším životem, který dosahuje 8krát až 10krát větší délky. Kompaktní zářivka pracuje na obdobném principu jako lineární zářivka, liší se od ní jen některými konstrukčními zvláštnostmi. [16] Proto nejprve vysvětlíme princip funkce lineární zářivky a až poté přistoupíme k zvláštnostem odlišujícím kompaktní zářivky od zářivek lineárních. Konstrukce lineární zářivky je popsána na obr. 23. K výrobě trubice (1) je používáno měkké sodno – vápenaté sklo. Ostatní skleněné součásti, čerpací trubička (6) a talířek jsou vyrobeny z měkkého, převážně olovnatého skla. Jedna či dvě vrstvy luminoforu (2) nanesené na vnitřní stěnu trubice přeměňují ultrafialové záření produkované kladným sloupcem rtuťového výboje na záření ve viditelné oblasti spektra. Zářivka je na obou koncích opatřena elektrodami (7). Elektrody se skládají z wolframových spiral, na jejichž povrchu je nanesena vrstva emisní hmoty. Základ emisní hmoty tvořený uhličitany barya, stroncia a vápníku je obohacen malou příměsí oxidu zirkoničitého. Ochranná clonka (8) bývá vyrobena z měkkého železa. Bez ochranné clonky by během provozu lineární zářivky docházelo k vypařování a následnému rozprašování emisní hmoty na vrstvu luminoforu. Následkem toho je výrazně potlačeno tmavnutí trubice a oslabení světelného toku. Plynná náplň (3) je tvořena směsí par rtuti a inertního plynu. Jako inertní plyn bývá používán většinou argon či směs argonu s kryptonem. Inertní plyn plní funkci snižování hodnoty zápalného napětí a ochrany před rychlým rozprašováním emisní hmoty z katody. Výboj se uskutečňuje ve směsi par rtuti s inertním plynem. Při konstrukce lineární zářivky je jedním z

klíčových kroků správné dávkování rtuti. Výrobci jsou nuceni lineární zářivky plnit vyšším množstvím rtuťových par, protože při provozu zářivky dochází ke ztrátám rtuti např. pohlcováním alkaliemi ve skle trubice. [16] “Zářivka pracuje v režimu nasycených rtuťových par a pro její správnou funkci je zapotřebí přítomnost pouze několika miligramů rtuti.” [16, str. 122] Snahou výrobců je dodávat pokud možno co nejmenší dávky rtuti do zářivek. Jejich snaha vykoupená nutností řešit technické problémy při konstrukci, se určitě vyplatí. Důvodem je zdravotní škodlivost rtuti a ekologické problémy při likvidaci vyhořelých zářivek. Narozdíl od obyčejné žárovky je účinnost lineární zářivky závislá na teplotě okolí. Optimálních hodnot světelného toku zářivka dosahuje při vnější teplotě 42°C a tlaku rtuťových par 0,8 Pa. Dalším důležitým faktorem ovlivňujícím účinnost lineární zářivky je kvalita luminoforu. Zavedením elektronických předřadníků bylo docíleno krom větší účinnosti i dalších výhod. Předřadníky fungují na vysoké frekvenci (frekvence vyšší než 30 kHz), jejich funkcí je zapálení i stabilizace výboje během provozu zdroje. Mezi výhody zářivek s elektronickými předřadníky patří zejména rychlý start (nedochází tedy k blikání zářivky) a šetrnost ke katodě, nedochází k míhání, menší hmotnost i ztráty v předřadníku a zamezení stroboskopickému jevu. Obdobně jako u halogenové žárovky je důležitý vliv počtu zapnutí na délku života zářivky. Platí, že častější spínání zářivky (např. 8krát během 24 hodin) vede ke kratšímu životu zářivky než by byl u zářivky svítící nepřetržitě. Upraveno podle [16].

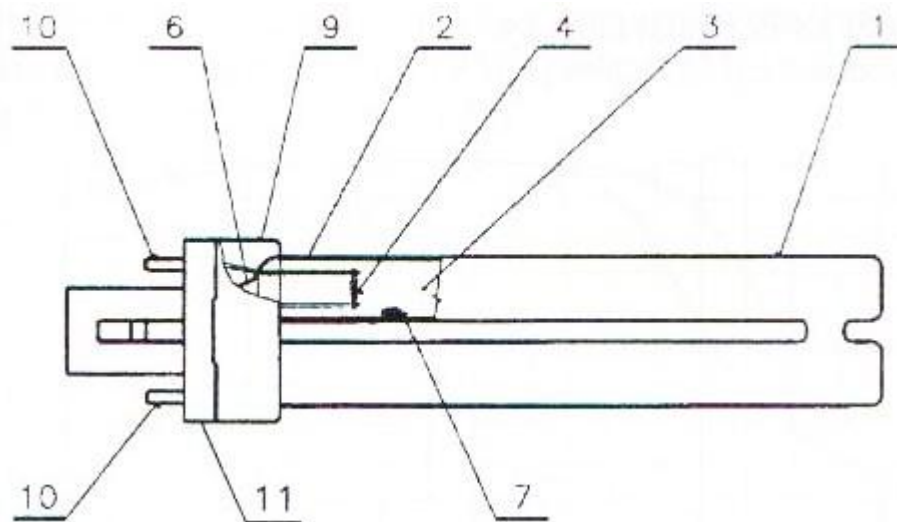


Obrázek 23: Konstrukce lineární zářivky. Převzato z [16, str. 122].

1 – trubice, 2 – vrstva luminoforu, 3 – plynná náplň, 4 – rtuť, 5 – nožka, 6 – čerpací trubička, 7 - elektroda, 8 – ochranná clonka, 9 – patice, 10 – kolík patice, 11 – tmel.

Nyní přistoupíme k popisu odlišností mezi lineární a kompaktní zářivkou, k čemuž nám poslouží čtyřnásobná zářivka (viz obr. 24, 22). Konstrukce kompaktních zářivek je charakteristická jednou paticí a svými malými rozměry. Malých rozměrů je dosaženo užitím složení výbojové dráhy do soustavy dvou, tří, čtyř nebo osmi paralelních a vzájemně spojených trubic. Materiálem k výrobě výbojové trubice (1) je obvykle měkké olovnaté sklo. Méně časté je použití speciálního druhu skla, např. s přísadou ceru. Vrstva luminoforu (2) je nanесena na vnitřní straně výbojové trubice. Vrstva je tvořena směsí dvou či tří luminoforů, které jsou na bázi prvků vzácných zemin a jejichž výrazné maximum záření náleží do červené, zelené nebo modré oblasti spektra viditelného záření. Na wolframových elektrodách (4) umístěných na koncích výbojové trubice je nanесena emisní hmota. Do plastové patice se zapalovačem (11) je zatmelena výbojová trubice. Pokud je u některých typů kompaktních zářivek do patice zabudován doutnavkový zapalovač (jiné označení je

tzv. startér), má patice dva kolíky (10). Čtyřkolíková patice se používá u kompaktních zářivek s externím indukčním či elektronickým předřadníkem. Upraveno podle [16].



Obrázek 24: Konstrukce kompaktní zářivky se zabudovaným doutnavkovým zapalovačem a paticí G24-d. Převzato z [16, str. 129].

1 – trubice, 2 – vrstva luminoforu, 3 – plynná náplň, 4 – elektroda, 6 – čerpací trubička, 9 – patice, 10 – kolík patice, 11 – plastový díl patice se zapalovačem.

5. 3 SVĚTELNÝ ZDROJ VYUŽÍVAJÍCÍ LED TECHNOLOGIE – LED ZÁŘIVKA

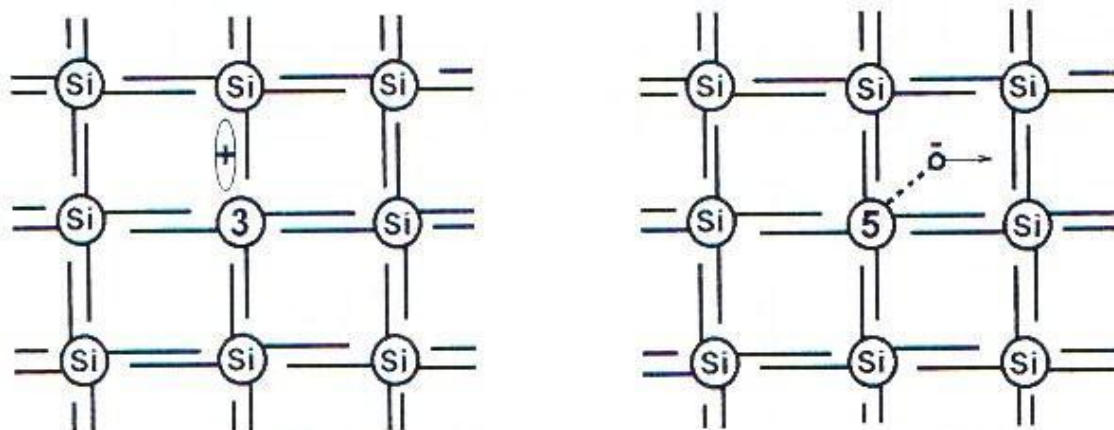
LED zářivka bývá spotřebiteli často označována jako “LED žárovka”. Výraz “žárovka” je nesprávný a zavádějící, protože princip funkce LED zářivky je naprosto odlišný od principu funkce žárovky. Zakládá se totiž na vodivosti polovodičů, konkrétně diodovém jevu. Samotná LED zářivka (viz obr. 25) se skládá z většího počtu jednotlivých LED diod, elektronických polovodičových součástek schopných vyzařovat elektromagnetické záření. [18] Děje se tak při zapojení přechodu PN ke zdroji napětí v propustném směru, kdy jsou majoritní nosiče náboje (tj. volné elektrony a díry) přitahovány k potenciálové překadě, v jejíž oblasti dochází k jejich částečné rekombinaci, přičemž se rozdíl jejich energií vyzáří ve formě elektromagnetického záření ve viditelné oblasti spektra záření. [11]



Obrázek 25: LED žárovka

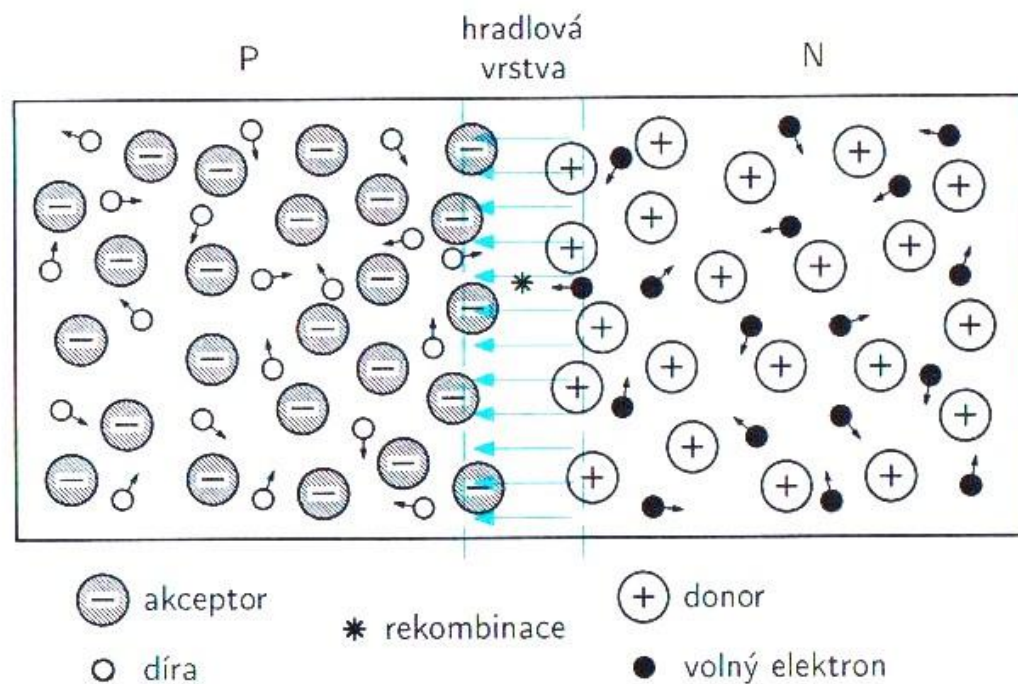
Na střední škole jsme se setkali s vedením elektrického proudu polovodiči. Připomeneme si klíčové pojmy, usnadňující pochopení principu funkce LED diody a následně LED žárovky. Budeme se zabývat přechodem PN a polovodičovým jevem.

Polovodičem typu P nazýváme příměsový polovodič, jehož nevlastní vodivost je způsobena příměsí prvku se třemi valenčními elektrony (viz obr. 26 vlevo). Následkem toho v polovodiči převládá děrová vodivost (díry jsou majoritním nosičem náboje, zatímco elektrony jsou minoritním nosičem náboje). Jako příklad polovodiče typu P lze uvést čtyřmocný křemík s příměsí trojmocného hliníku, boru či india, kdy je v krystalické mřížce křemíku čtyřmocný atom křemíku nahrazen trojmocným atomem boru. U polovodiče typu N (viz obr. 26 vpravo) je příměsí prvek s pěti valenčními elektrony, např. arsen či fosfor. V polovodiči typu N tedy převažuje elektronová vodivost (elektrony jsou majoritním nosičem náboje, zatímco díry jsou minoritními nosiči náboje).

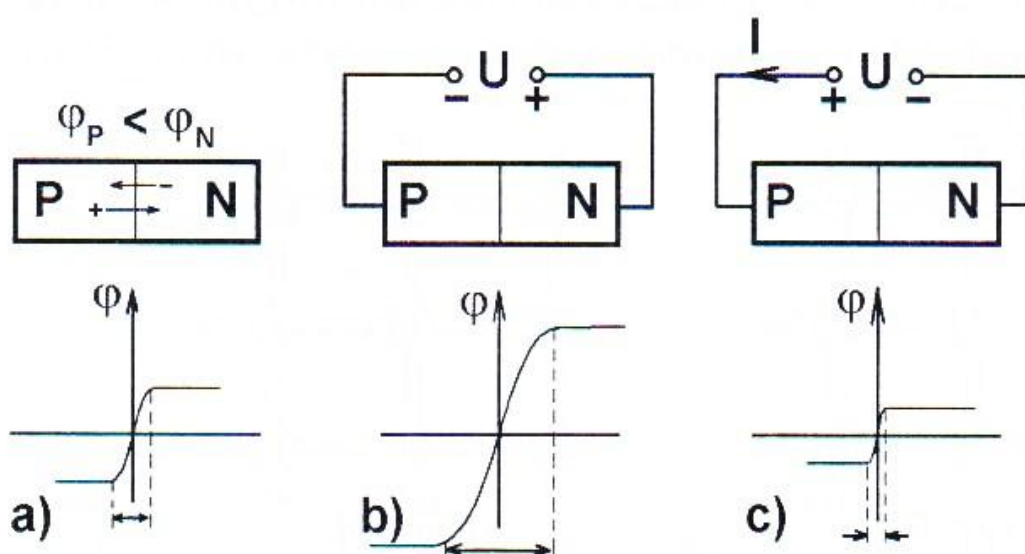


Obrázek 26: *Polovodič typu P (vlevo) a polovodič typu N (vpravo). Převzato [11, str. 107].*

Diodový jev je založen na jevech probíhajících na přechodu PN. Přechod PN (viz obr. 27) vzniká vodivým spojením polovodiče typu P s polovodičem typu N. Výsledkem je polovodič skládající se z části s vysokou koncentrací děr a části s vysokou koncentrací elektronů. Dochází ke vzniku potenciálové přehrady (označované též jako hradlová vrstva), protože polovodič typu N se nabíjí záporně a polovodič typu P se nabíjí kladně, čímž elektrický potenciál polovodiče typu N je vyšší než elektrický potenciál polovodiče P. K nabití polovodiče P a N dochází přesouváním elektronů z míst o velké koncentraci elektronů (polovodič typu N) do míst s malou koncentrací elektronů (polovodič typu P). Též díry se z míst o vysoké koncentraci (polovodič typu P) přesouvají do míst o nižší koncentraci (polovodič typu N). Na přechod PN lze zavést napětí ze zdroje napětí dvěma způsoby, v závěrném směru a v propustném směru. Volbou polarity zdroje lze ovlivnit velikost proudu procházejícího přechodem PN. Při zapojení v závěrném směru obvodem prochází proud o velmi malé velikosti, zatímco při zapojení v propustném směru obvodem prochází poměrně velký proud. Na následujících řádcích vysvětlíme, proč tomu tak je. Zapojením PN přechodu v závěrném směru (viz obr. 28 b) dosáhneme zapojením zdroje napětí svým záporným pólem k polovodiči typu P a svým kladným pólem k polovodiči typu N. Majoritní nosiče náboje se začnou v polovodičích obou typů pohybovat směrem od potenciálové přehrady. Tímto se potenciálová přehrada rozšíří a zvětší a jelikož v ní nejsou majoritní nosiče náboje, dramaticky klesne její vodivost. Nicméně vodivost zcela nevymizí, protože jsou tu stále přítomny minoritní nosiče náboje vznikající v každém polovodiči na základě vlastní vodivosti. Zapojení v propustném směru (viz obr. 28c) provedeme přesně opačným způsobem, čímž dosáhneme přesně opačných výsledků. Záporný pól zdroje napětí zapojíme k polovodiči typu N a kladný pól zapojíme k polovodiči typu P. Nyní se majoritní nosiče náboje v polovodičích obou typů pohybují směrem k potenciálové přehradě, což má za následek její zúžení a snížení vedoucí ke zvýšení vodivosti PN přechodu.

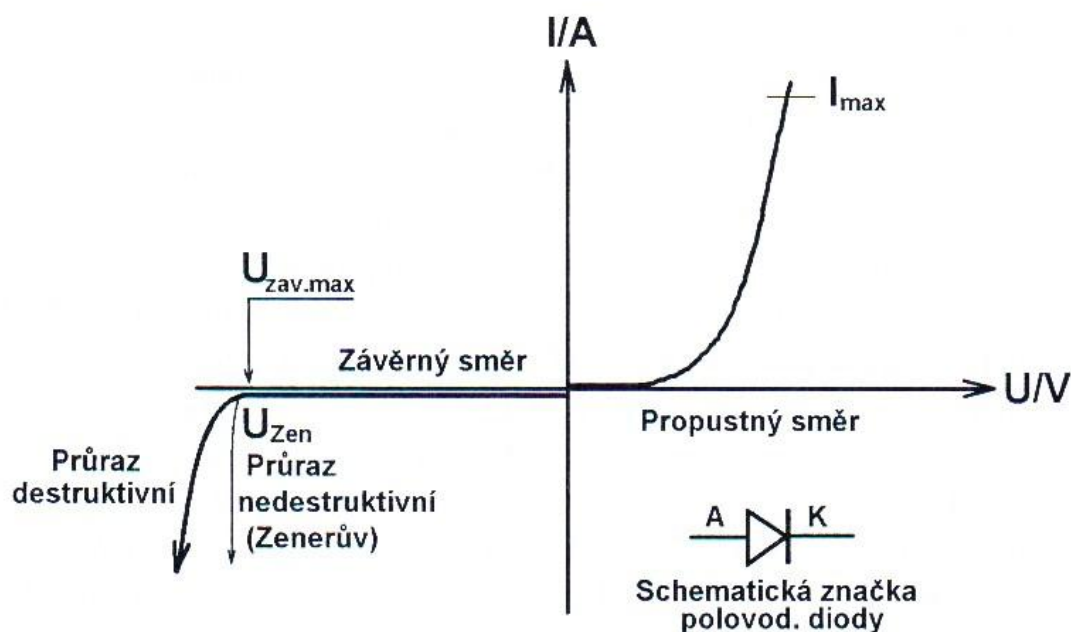


Obrázek 27: Vznik přechodu PN v krystalu polovodiče. Převzato z [19, str. 324].



Obrázek 28: Přechod PN a) bez zapojeného zdroje napětí, b) zapojený v závěrném směru, c) zapojený v propustném směru. Převzato z [11, str. 108].

Nyní prostřednictvím voltampérové charakteristiky (viz obr. 29) popíšeme závislost velikosti proudu procházejícího obvodem s diodou na velikosti napětí přiváděného zdrojem napětí pro závěrný i propustný směr. Při zapojení diody v závěrném směru jsou zvyšováním napětí urychlovány minoritní nosiče náboje, které při překročení maximální hodnoty napětí $U_{zav.max}$ mohou předat část své kinetické energie atomům polovodiče a tím je ionizovat. Následkem je velmi prudký nárůst proudu procházejícího obvodem, který vede k průrazu a destrukci přechodu PN. “Zvyšujeme-li napětí na diodě v propustném směru, proud zpočátku neprochází dokud napětí zdroje nepřekoná potenciálovou bariéru na přechodu PN. U Ge diody je tato hranice 0,2 V až 0,3 V, u Si diody je kolem 0,65 V. Při zvýšení napětí nad tuto hodnotu, proud diodou s rostoucím napětím urychleně vzrůstá.” [11, str. 108, 109] Pokud velikost proudu v obvodu přesáhne hodnotu I_{max} , může být přechod PN zničen kvůli příliš silnému zahřátí způsobeném průchodem proudu. [11] U LED diod dochází při jejich zapojení v propustném směru k pohybu majoritních nosičů směrem k přechodu PN, kde dojde k jejich částečné rekombinaci, kdy volný elektron zaplní díru a stane se tak valenčním elektronem. “Při tom se rozdíl jejich energií vyzáří ve formě elektromagnetického (světelného) záření.” [11, str. 109]



Obrázek 29: Voltampérová charakteristika diody. Převzato z [11, str. 108].

Mezi výhody LED diod patří malé rozměry a okamžitý start. Oproti jiným světelným zdrojům zmiňovaným v předchozím textu délka jejich života není zkracována časným spínáním, což z nich činí výborný světelný zdroj k osvětlení prostor, kde dochází k častému zapínání a vypínání zdroje světla. Jsou také mechanicky mnohem odolnější. Jejich nejpodstatnější výhodou je ovšem jejich energetická úspornost a dlouhá délka života pohybující se kolem 35 000 až 50 000 hodin. Mezi nevýhody patří vysoké pořizovací náklady a závislost na teplotě okolního prostředí. [20]

6. ZÁVĚR

Předpokládám, že by tato práce mohla nalézt uplatnění ve výuce, ve které se uplatňuje nový přístup spočívající v nalézání souvislostí mezi jednotlivými partiemi učiva. Tento přístup bych chtěla využít i při psaní diplomové práce, ve které bych chtěla navázat a zabývat se dalšími domácími spotřebiči.

Vyhodnocení dotazníkového šetření na znalost základních pojmů z elektřiny a magnetismu u studentů střední školy nedopadlo špatně. Nicméně se jedná o středoškolskou látku probíranou podle tradičních osnov. Při zpracovávání bakalářské práce jsem zjistila, že principy funkce spotřebičů nejsou známy až do takové míry. Dotazníkové šetření na znalosti o tradičních i netradičních spotřebičích bych ráda provedla až v rámci diplomové práce.

Jsem schopna sestavit přehledný studijní materiál s využitím pro výuku ve speciálním semináři z fyziky na střední škole či pro další vzdělávání učitelů. Stále se zrychlující tempo technického pokroku ztěžuje další vzdělávání učitelů, nicméně pro udržení autority osobnosti učitele a kvality výuky je nezbytné.

7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A OSTATNÍCH ZDROJŮ

- [1] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. 1. vydání. Praha : Grada Publishing, a. s., 2009. 112 s. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [2] SRDEČNÝ, Karel; TRUXA, Jan. *Tepelná čerpadla*. 1. vydání. Praha : EkoWATT, 2009. 71 s. ISBN 978-80-87333-02-0.
- [3] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. 1. vydání. Praha : ABF, a.s.-Nakladatelství ARCH, 2003. 121 s. ISBN 80-86165-61-2.
- [4] MATUŠKA, Tomáš. *Alternativní zdroje energie* [online]. Praha : ČVUT, Fakulta strojní, [2010] [cit. 2011-03-23]. Dostupné z WWW: <http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/AZE_texty.pdf>.
- [5] HOLUBOVÁ, Renata. *Termodynamika a molekulová fyzika - přednášky* [online]. Olomouc : UP, Přírodovědecká fakulta, 2003 [cit. 2011-04-27]. Dostupné z WWW: <<http://apfyz.upol.cz/ucebnice/down/termo.pdf>>.
- [6] TŮMA, Jan. *Chladničky a mrazničky*. 1. vydání. Brno : ERA group spol. s.r.o., 2006. 78 s. ISBN 80-7366-048-2.
- [7] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fyzika : vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 4, Elektromagnetické vlny-Optika-Relativita*. 1. vydání. Brno, Praha : Brno : VUTIUM; Praha : Prometheus, 2000. vii s., s. 890-1032, příl. : il s. ISBN 80-214-1868-0.
- [8] TŮMA, Jan. *Sporáky, varné desky, pečicí trouby*. 1. vydání. Brno : ERA group spol. s.r.o., 2006. 74 s. ISBN 80-7366-069-5.
- [9] *FyzWeb* [online]. 2011 [cit. 2011-03-01]. Magnetron. Dostupné z WWW: <<http://fyzweb.cuni.cz/dilna/krouzky/mikrov/podr1.htm>>.
- [10] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fyzika : vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 3, Elektřina a magnetismus*. Brno, Praha : Brno : VUTIUM; Praha : Prometheus, 2000. viii s., s. 578-888; příl. : il s. ISBN 80-214-1868-0.

- [11] ZÁHEJSKÝ, Jiří. *Elektřina a magnetismus*. 1. vydání. Olomouc : Univerzita Palackého, 2002. 236 s. ISBN 80-244-0482-6.
- [12] *PUMA - power user mathematic array* [online]. 2011 [cit. 2011-04-11]. Indukční ohřev + Relativně tlustá stěna. Dostupné z WWW: <http://puma.feld.cvut.cz/cs/wiki/indukcni_ohrev>.
- [13] *FYZMATIK* [online]. 16. 3. 2009 [cit. 2011-04-11]. Indukční ohřev. Dostupné z WWW: <<http://fyzmatik.pise.cz/100904-indukcni-ohrev.html>>.
- [14] BAXANT, Petr. *Elektrické teplo a světlo*. 1. vydání. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s. r. o. Brno, 2004. 190 s. ISBN 80-214-2761-2.
- [15] *Třetí pól* [online]. 16. 10. 2007 [cit. 2011-05-01]. Svítíme s elektřinou. Dostupné z WWW: <<http://3pol.cz/582-svitime-s-elektrinou>>.
- [16] HABEL, Jiří, et al. *Světelná technika a osvětlování*. Praha : FCC Public, spol. s. r. o., 1995. 448 s. ISBN 80-901985-0-3.
- [17] HUBENÁK, Josef. *Fyzika a technika : Studijní materiál pro další vzdělávání učitelů fyziky*. Hradec Králové : MAFY a GAUDEAMUS, 1996. 89 s. ISBN 80-7041-685-8.
- [18] *LED žárovka* [online]. 2011 [cit. 2011-04-28]. LED žárovka. Dostupné z WWW: <<http://led.zarovka.net/>>.
- [19] SVOBODA, Emanuel, et al. *Přehled středoškolské fyziky*. 3. vydání. Praha : Prometheus, spol. s. r. o., 2001. 497 s. ISBN 80-7196-116-7.
- [20] *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 2011 [cit. 2011-04-28]. Light-emitting diode. Dostupné z WWW: <[http://en.wikipedia.org/wiki/Droop_\(LED\)#Disadvantages](http://en.wikipedia.org/wiki/Droop_(LED)#Disadvantages)>.

PŘÍLOHA 1

ZADÁNÍ DOTAZNÍKOVÉHO ŠETŘENÍ

Průzkum znalostí SŠ látky z „Elektřiny a magnetismu“ v části střídavé proudy a napětí

- 1) Jaká je efektivní hodnota napětí v domácnostech ve spotřebitelské síti v České republice?**
 - a) 210 V
 - b) 220 V
 - c) 230 V
 - d) 240 V
- 2) Co udává příkon spotřebiče?**
 - a) množství energie přijaté elektrickým spotřebičem ze zdroje napětí za 1 s
 - b) množství energie odevzdané elektrickým spotřebičem okolí při tepelné výměně
 - c) množství energie přijaté elektrickým spotřebičem z okolí při tepelné výměně
 - d) ztrátu energie při průchodu elektrického proudu elektrickým spotřebičem
- 3) Co udává výkon elektrického spotřebiče?**
 - a) rychlost pohybu částic s nábojem v elektrickém spotřebiči
 - b) míru práce vykonané silami elektrického pole při přemístění částic s nábojem v elektrickém spotřebiči
 - c) rychlost přeměny elektrické energie v elektrickém spotřebiči v jiné formy energie
 - d) míru práce vykonané elektrickým spotřebičem za 1 s
- 4) Co udává fyzikální veličina účinnost?**
 - a) poměr výkonu a příkonu
 - b) součet výkonu a příkonu
 - c) poměr příkonu a výkonu
 - d) rozdíl příkonu a výkonu
- 5) Jouleovo teplo je**
 - a) míra změny elektrické energie dodané spotřebiči
 - b) míra změny vnitřní energie spotřebiče po průchodu elektrického proudu, teplota spotřebiče se zvýší
 - c) míra změny vnitřní energie spotřebiče po průchodu elektrického proudu, teplota spotřebiče se sníží
 - d) míra změny vnitřní energie spotřebiče po průchodu elektrického proudu závislá na směru proudu
- 6) Kolik procent dodané elektrické energie přemění žárovka v tepelnou energii a kolik ve světlo?**
 - a) 20 % tepelné energie, 80 % světelné energie
 - b) 40 % tepelné energie, 60 % světelné energie
 - c) 70 % tepelné energie, 30 % světelné energie
 - d) 90 % tepelné energie, 10 % světelné energie
- 7) Jaké napětí lze transformovat pomocí transformátorů?**
 - a) stejnosměrné
 - b) střídavé
 - c) stejnosměrné i střídavé
 - d) žádné
- 8) Z jakého materiálu se vyrábějí dráty v kabelech pro rozvod elektrické energie?**
 - a) železo
 - b) měď
 - c) wolfram
 - d) olovo
- 9) Co udává účinník $\cos\varphi$ a jak ovlivňuje velikost činného výkonu střídavého proudu dle vztahu $P = UI\cos\varphi$? (kde U a I značí velikost efektivních hodnot střídavého napětí a proudu a φ velikost fázového rozdílu napětí a proudu)**
 - a) účinnost přenosu elektrické energie ze zdroje do spotřebiče, nejvyšší činný výkon nastává při $\varphi = \pi$ rad

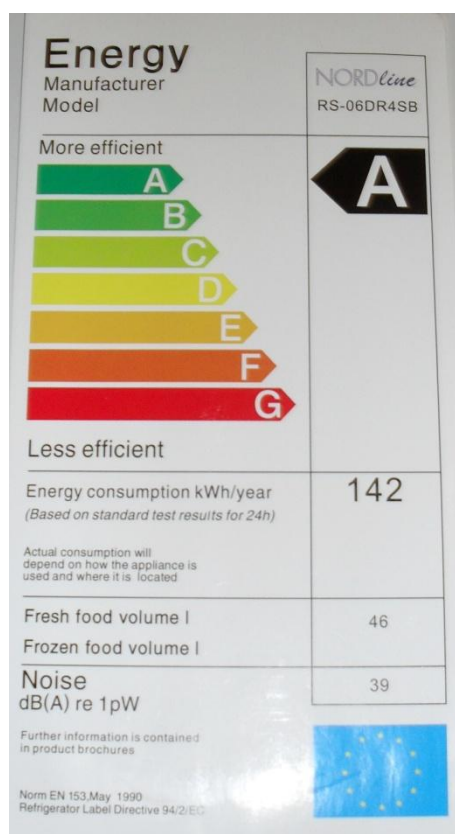
b) účinnost přenosu elektrické energie ze zdroje do spotřebiče, nejvyšší činný výkon nastává při $\varphi=0\text{rad}$

c) část elektrické energie dodané zdrojem, která se ve spotřebiči přemění na užitečnou práci, nejvyšší činný výkon nastává při $\varphi=0\text{rad}$

d) část elektrické energie dodané zdrojem, která se ve spotřebiči přemění na teplo, nejvyšší činný výkon nastává při $\varphi=\pi\text{rad}$

10) Co udává hodnota 142 kWh uvedená na energetickém štítku spotřebiče na obr.1?

- a) příkon spotřebiče
- b) výkon spotřebiče
- c) spotřebu elektrické energie spotřebiče za 1 rok
- d) spotřebu elektrické energie spotřebiče za 24 hodin



Obrázek 1: Energetický štítek spotřebiče

PŘÍLOHA 2

POJMY, KTERÉ JSOU DISKUTOVÁNY V BAKALÁŘSKÉ PRÁCI A VZTAHUJÍ SE K STŘEDOŠKOLSKÉMU UČIVU

- Tepelná výměna
- Carnotův cyklus

- Děje s plynem: izotermická komprese, izotermická expanze, adiabatická komprese, adiabatická expanze
- Účinnost
- Výkon
- Příkon
- Spektrum elektromagnetického záření
- Elektrický dipól
- Energetická efektivnost
- Jouleovo teplo
- Faradayův zákon elektromagnetické indukce
- Vzájemná indukce
- Foucaultovy vířivé proudy
- Vedení elektrického proudu v plynech
- Vedení elektrického proudu v polovodičích

