

4. Praktické využití elektrických a magnetických jevů.

Využití elektrických jevů zejména v technické praxi je tak rozsáhlé, že daleko přesahuje rámec dokonce i dosti objemné knihy. Proto jsme se omezili na taková využití, která jsou na jedné straně natolik známá, že se nad jejich podstatou nezamýšlíme a na druhé straně taková využití, která jsou zajímavá tím, že v nich elektřinu a magnetismus na první pohled nevidíme. Podle našich zkušeností mohou právě takové jevy a zařízení sloužit jako motivační prvky ve výuce fyziky.

4.1. Elektrostatika

Elektrické náboje vznikají různým způsobem. Někdy je tomu díky fázovým změnám v látkách (vznik ledu), při přetržení vlákna, při rozlomení krystalu (cukr, sůl aj.), při přelévání kapalin, proudění plynu, tření látek apod. Jsou – li tyto náboje od sebe odděleny nevodivým prostředím, vzniká mezi nimi elektrické napětí. V tabulce 1 jsou uvedeny orientační hodnoty takového napětí při různých dějích:

Děj	Napětí
Sníh ve vánici	65 V
Mletí cukru ve válcovém mlýně	1 700 V
Jízda automobilu po betonové vozovce	3 000 V
Praní vlněných šatů v benzínu	5 000 V
Barvení předmětů stříkáním	10 000 V
Chůze po vlněném koberci	14 000 V
Pohyb koženého hnacího řemene	80 000 V

Tab.1. Velikost elektrických nábojů, generovaných za různých podmínek

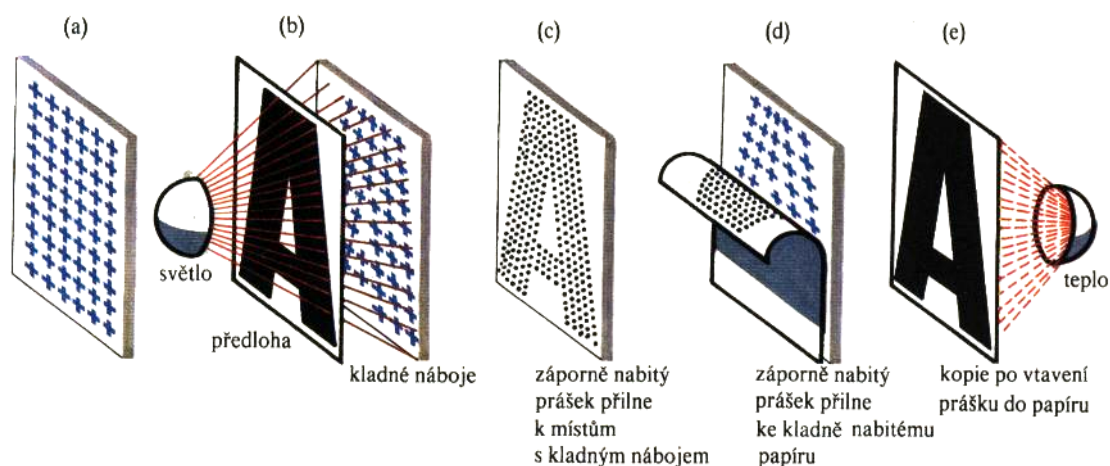
Tak vysoké hodnoty napětí nás však nesmí příliš lekat. Fyziologické účinky má kromě hodnoty napětí hlavně proud, protékající živou tkání a ten je v těchto případech velmi malý a tak obvykle cítíme pouze píchnutí či brnění v prstech, dotkneme – li se po svléknutí vlněného svetry např. tělesa ústředního topení. Fyziologické účinky jsou obvykle tedy zanedbatelné, ale jiné účinky mohou být nepříjemné, ba přímo nebezpečné. Například jiskra, která přeskočí v prostředí, vyplněném hořlavými parami (nádrž automobilu, plastový kanystr na benzín, zaprášené tovární provozy, prázdné tankery, apod.). Nepříjemné účinky elektrostatického náboje známe z denní praxe – nemožnost docílení hladkého účesu příliš suchých vlasů, „přilepení“ sukně k punčochám při chůzi, usedání prachových částic na některé druhy látek (zejména syntetických), atd.

Známe – li příčinu těchto jevů, můžeme učinit opatření, která zamezí vzniku elektrických nábojů. Nejjednodušším opatřením je uzemnění těch objektů, na nichž se elektrický náboj shromažďuje (vodivý proužek textilie, protkaný kovovými drátky, spojující

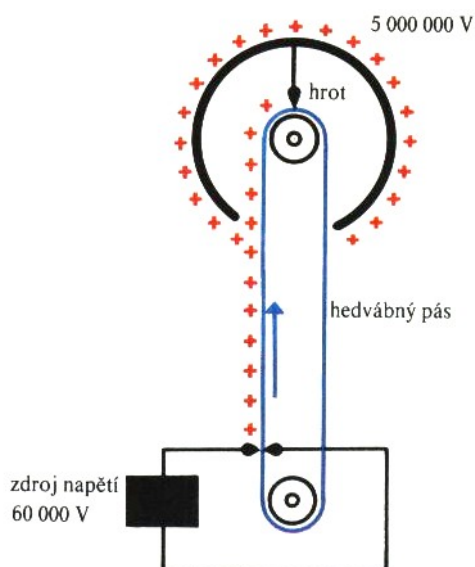
při jízdě automobil se zemí, odsávání náboje hroty, umístěnými poblíž pohybujících se pásů). Jindy zajistíme, aby náboje byly propojeny vodivě – různé druhy aviváží.

Poznámka: až asi do konce 50. let minulého století jezdily po silnicích automobily, poháněné párou (tzv. sentinely). Třením páry v jejich komínkách vznikala elektrický náboj tak velký, že při vystupování z automobilu by mohlo vzniknout tzv. krokové napětí. Aby se náboj vybíjel i během jízdy, táhl sentinel za sebou po vozovce dokonce řetěz.

Využití elektrostatiky v praxi. Nejznámější zařízení, využívající elektrostatických jevů bylo popsáno v kap.2.1. Jedná se o tzv. *elektrostatický odlučovač popílků*. Dalším významným využitím elektrostatiky je **xerografie** (suchý tisk). Princip xerografie je uveden na Obr.4.1.



Obr.4.1. Princip činnosti xerografie.



Obr.4.2. Van de Graafův generátor

Kovová deska (válec) je pokryta tenkou vrstvou polovodivého selenu, který se ve tmě nabije pomocí doutnavého výboje kladným elektrostatickým nábojem. Jestliže nyní na

vrstvičku selenu promítneme kopírovaný text, zůstane náboj pouze na neosvětlených místech vrstvy selenu. Na desku poté rozprášíme velmi jemný prášek (např. asfalt), nebo vhodné barvivo s nízkým bodem tání, které jsme předem nabili záporným nábojem. Proto se tento prášek zachytí pouze na místech s kladným nábojem, tj. na textu (obrázku). Na takto vzniklý prachový obraz přiložíme papír, nabitý kladným nábojem a prášek přilne k papíru. Poté se prášek zataví do papíru zahřátím na vyšší teplotu. Je jasné, že jsme uvedli pouze princip xerografie, reálně fungující kopírky jsou složitější.

Van de Graafův generátor (Obr.4.2.) je přístroj, využívaný nejen jako demonstrační zdroj vysokého napětí, ale též jako laboratorní přístroj, sloužící např. k urychlování elementárních částic. Pás, zhotovený z pogumovaného hedvábí se pohybuje mezi dvěma válci. V dolní části jsou na pás přiváděny kladné náboje ze zdroje vysokého napětí (60 000 V). V horní části přístroje jsou tyto náboje odváděny pomocí hrotu na vnější povrch duté kovové koule, kde se shromažďuje a takto lze dosáhnout napětí několika milionů voltů. V laboratorních přístrojích se přivádí na pás náboj, získaný třením kladky o pás.

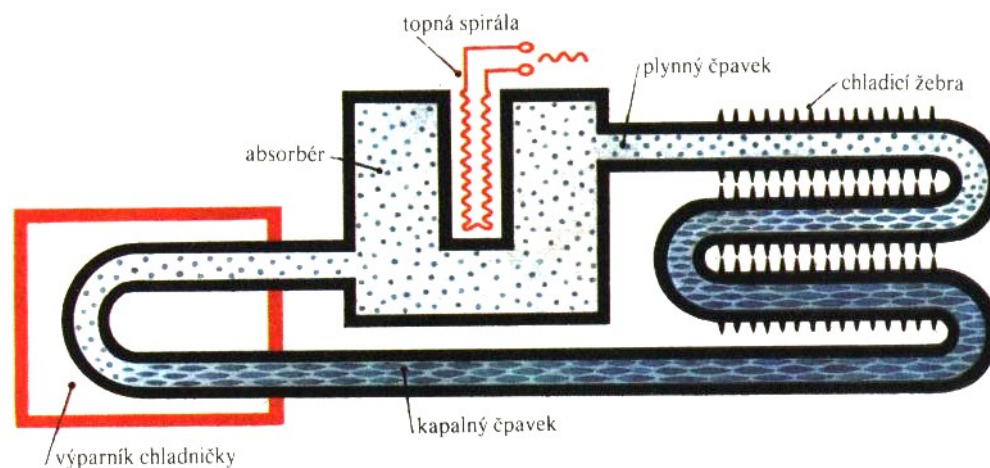
4.2. Elektrický proud.

Využití elektrického proudu v praxi je natolik rozmanité, že pouhý výčet názvů by byl velmi obtížný. Proto uvedeme pouze některá z nich (podle našeho názoru nejzajímavější).

Elektrické vytápění. Všechny elektrické spotřebiče, sloužící k vytápění jsou založeny na platnosti vztahu pro výpočet elektrické práce (Jouleovo teplo):

$$W = U.I.t = R.I^2.t.$$

Z tohoto vztahu vidíme, že u takových spotřebičů hraje velmi důležitou roli ohmický odpor. Elektrické spotřebiče, používané k vytápění dělíme na přímotopné a akumulční. Přímotopné spotřebiče ohřívají vzduch sáláním, akumulční topné spotřebiče pomocí šíření tepla prouděním. Akumulční topné spotřebiče mají vyšší účinnost a bývají navíc často konstruovány tak, že využívají tzv. noční proud, který je levný a ve vhodném médiu (např. keramice) teplo nashromážděné v noci vydávají ve dne, kdy jsou automaticky vypnuty.



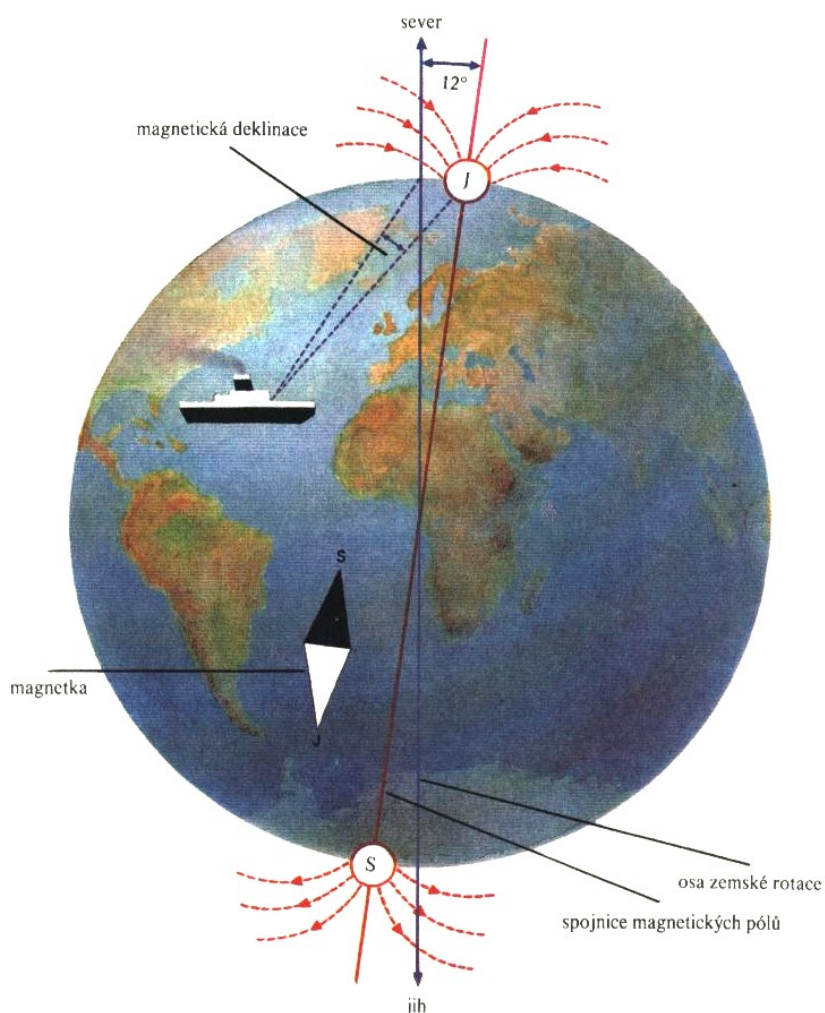
Obr.4.3. Princip absorpční chladničky.

Elektrické chladničky. Elektrická **absorpční chladnička** je založena na skutečnosti, že vypařující se médium odnímá svému okolí teplo. Náplní této ledničky je snadno se vypařující

kapalina a absorbér, který páry chladicí kapaliny pohlcuje. Chladicí kapalinou je například čpavek a absorbérem voda. Z Obr.4.3. je zřejmý princip činnosti chladničky. Kapalným čpavkem se vypařuje ve výparníku a tím ochlazuje vnitřní prostor chladničky. Páry čpavku jsou pohlcovány vodou v absorbéru. Vyhřívací těleso ohřívá vodu a tím je čpavek z vody vytěšňován a v trubičkách s chladicími žebry se čpavek vnějším vzduchem ochladí, zkapalní a přivádí znovu do výparníku. Tento cyklus se stále kontinuálně opakuje. Místo ohřívání elektrickým proudem lze k vytěšňování chladicí kapaliny použít i tepla, získaného např. z hořícího plamene plynu.

Druhým typem chladniček jsou **chladničky kompresorové**. U nich je absorbér nahrazen zařízením, ve kterém se páry chladicí kapaliny zkapalňují stlačováním pomocí pístu, poháněného kompresorem.

Výhodou absorbčních chladniček je skutečnost, že nemají žádné pohyblivé součástky a jsou tedy méně poruchové a mají tichý chod. Mají však vyšší spotřebu, než chladničky kompresorové (jejich spotřeba je asi 1 kWh za 24 hod.). Ve světě je vyráběno mnohem více ledniček kompresorových, než absorbčních.



Obr.4.4. Magnetické pole Země.

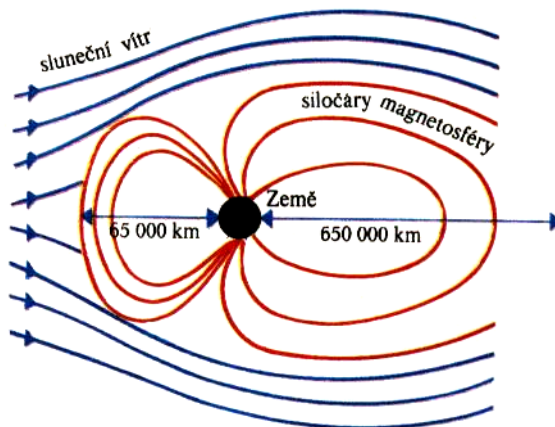
4.3. Magnetismus

Magnetické jevy byly známy lidstvu již asi 4000 let př.n.l. (Číňané – první kompas). V roce 1269 zkonstruoval Francouz P.Peregrinus první magnetickou strelku v Evropě. Tento magnet sloužil jako základ pro pozdější velké zámožské objevy. V roce 1600 W.Gilbert vyslovil domněnku, že celá Země je velkým magnetem. Důvod vzniku magnetického pole Země není ještě definitivně prokázán. Soudíme, že souvisí s tím, že pevné kovové jádro Země rotuje s jinou rychlostí, než zemská kůra – vzniká tím elektrický proud, který vytvoří magnetické pole a vytvoří tak ze Země permanentní magnet. Severní pól tohoto magnetu se nachází v oblasti jižního geografického pólu a jižní pól naopak asi 1000 km od pólu severního. Aby však nedocházelo ke zmatkům, nazýváme jižní magnetický pól severním a naopak (Obr.4.4.)

Poloha magnetických pólů není pevná, póly „cestují“ pomalu a jejich poloha je ovlivňována atmosférickými bouřemi, zemětřeseními, sluneční činností, apod. Navíc dochází vždy po jisté dlouhé době k přepólování obou pólů, které trvá asi 2 roky (a v této době je Země bez magnetického pole, což může mít fatální význam pro život na Zemi). Země vytváří kolem sebe magnetické pole (magnetosféru), které sahá do vzdálenosti od 65 000 km až 650 000 km. Řádkový rozdíl těchto vzdáleností způsobuje tzv. Sluneční vítr, tj. proud nabitých částic, vyvrhovaných Sluncem při erupcích (Obr.4.5). Magnetosféra tyto nabitě částice odchyluje podle vztahu pro Lorenzovu sílu

$$F_L = q(\mathbf{v} \times \mathbf{B})$$

(q je velikost elektrického náboje, v je jeho rychlost a \mathbf{B} je magnetická indukce pole) a výsledkem je spirální rotace částic podél magnetických siločar a jejich dopad do oblasti Severního, nebo Jižního pólu (vznik polárních září v těchto oblastech).



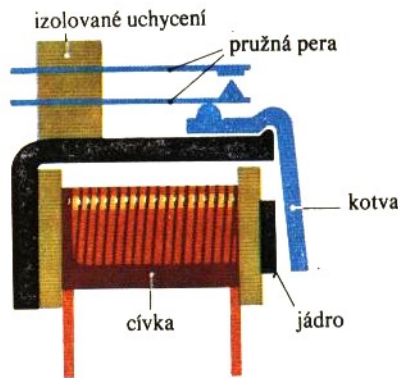
Obr.4.5. Sluneční vítr a jeho vliv na magnetosféru Země.

4.4. Elektromagnetická indukce

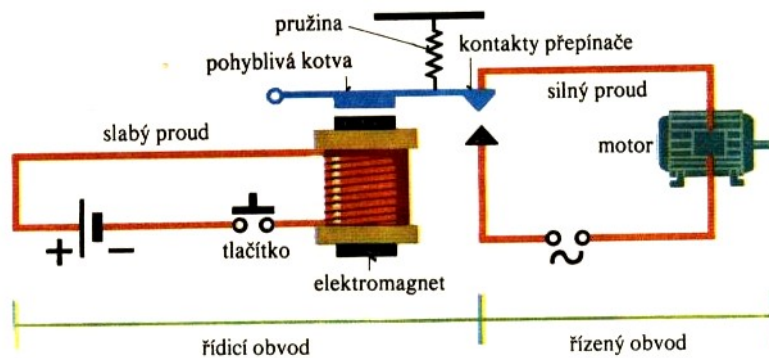
Elektromagnetická relé jsou stále ještě často používaným regulačním a spínacím prvkem. Společným jmenovatelem pro všechny typy relé je skutečnost, že pomocí malých proudů regulujeme proudy velké, nebo i jiné veličiny neelektrické povahy. Na Obr.4.6. je uvedeno nejjednodušší relé – telefonní.

Elektrický spínač. V tomto případě se jedná o velmi jednoduché relé, které se skládá z elektromagnetu a pohyblivé kotvy. Zapneme – li tlačítko, protéká cívkou slabý proud a jádro elektromagnetu přitáhne kotvu, kontakty přepínače se spojí a řízeným obvodem bude

protékat silný proud, který roztočí motor. Po vypnutí tlačítka dojde k procesu opačnému a motor se vypne (Obr.4.7.)

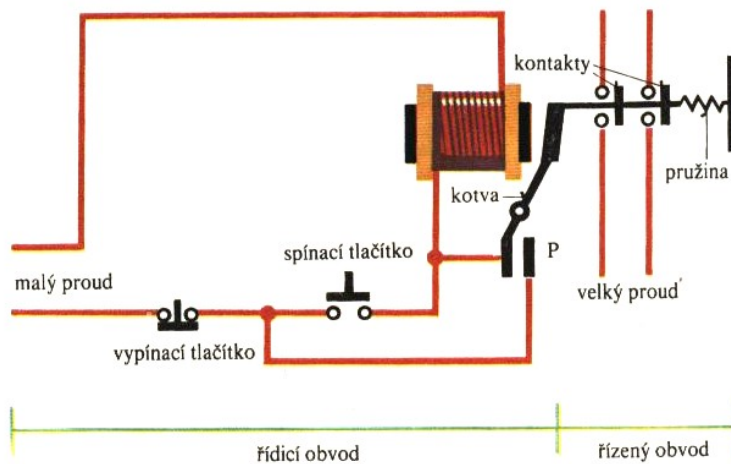


Obr.4.6. Telefonní relé.



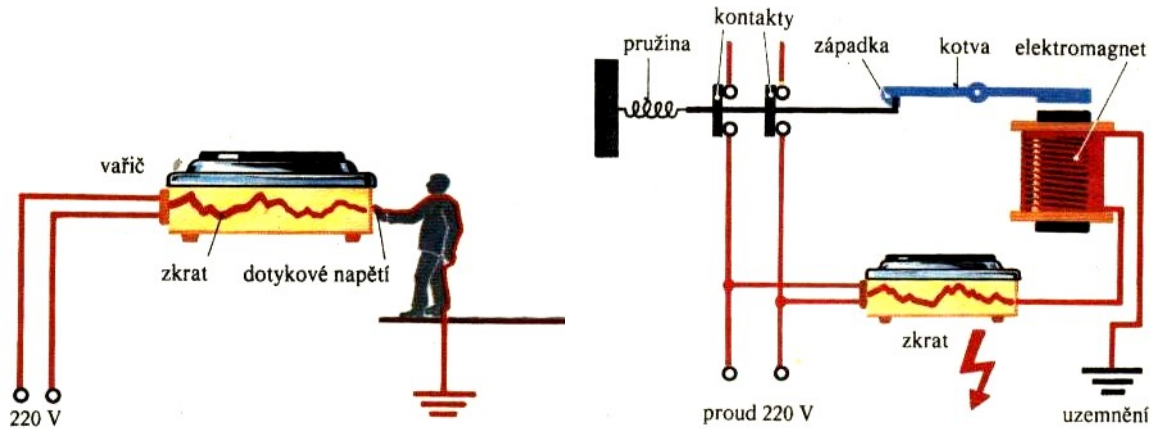
Obr.4.7. Elektrický spínač.

Ve výtahu a jiných podobných zařízeních používáme tzv. **elektromagnetické stykače** (Obr.4.8.). Po stisknutí spínacího tlačítka projde cívkou elektromagnetu proud, který přitáhne kotvu a spojí kontakty, takže řízeným obvodem bude protékat proud, který dá do pohybu např. výtah. Současně se spojí i kontakt P, takže i po uvolnění spínacího tlačítka protéká kotvou i cívkou proud a stykač zůstane zapnut do té doby, dokud vypínacím tlačítkem proud v cívce elektromagnetu nepřeručíme. Pružina pak kotvu přitáhne a tím rozpojí i kontakty řízeného obvodu.



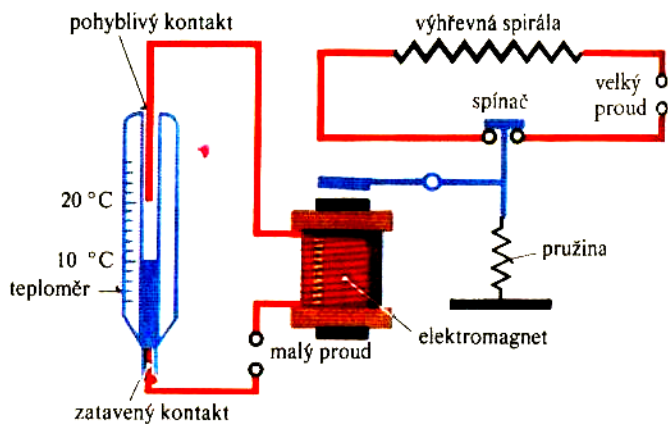
Obr.4.8. Elektromagnetický stykač.

K ochraně před úrazy elektrickým proudem slouží tzv. **chrániče** (Obr.4.9.). Vznikne – li poruchou na elektrickém spotřebiči (např. na vařiči) nebezpečné napětí (např. když se uvolněný vodič dotkne kovového obalu spotřebiče), začne cívkou elektromagnetu protékat proud do země, jádro přitáhne kotvu, uvolní se západka a pružina rozpojí kontakty a tím se přeruší průchod proudu.



Obr.4.9. Využití relé při ochraně proti úrazům elektrickým proudem.

Elektromagnetická relé se užívají i tam, kde chceme regulovat nějakou veličinu neelektrické povahy (teplotu, světlo, koncentraci roztoků apod.). Činnost takových relé je zřejmá z Obr.4.10. Tepelné relé pracuje tak, že v případě, že dosáhne rtuť k drátku (na předem nastavenou teplotu), dojde ke spojení obvodu, relé sepne a vypne se topná spirála. Při poklesu teploty poklesne i hladina rtuti, obvod se přeruší a topná spirála opět začne pracovat.



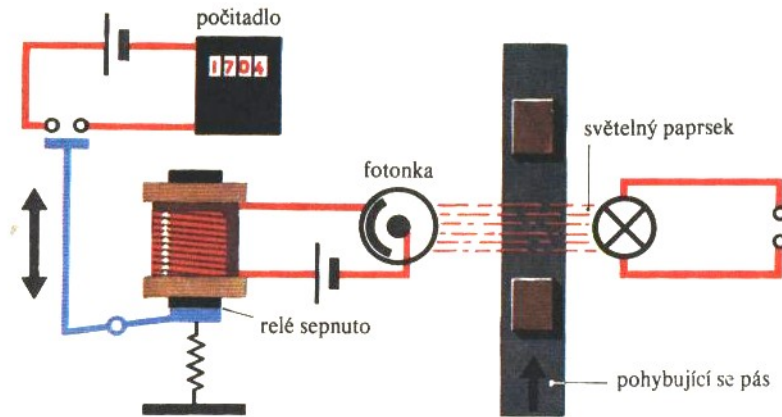
Obr.4.10. Regulátor teploty.

Fotoelektrické relé (fotorelé) lze použít např. k automatickému počítání předmětů na pohybujícím se pásu. Fotonkou protéká proud pouze tehdy, je – li osvětlena. Další činnost obvodu j zřejmá z Obr.4.11.

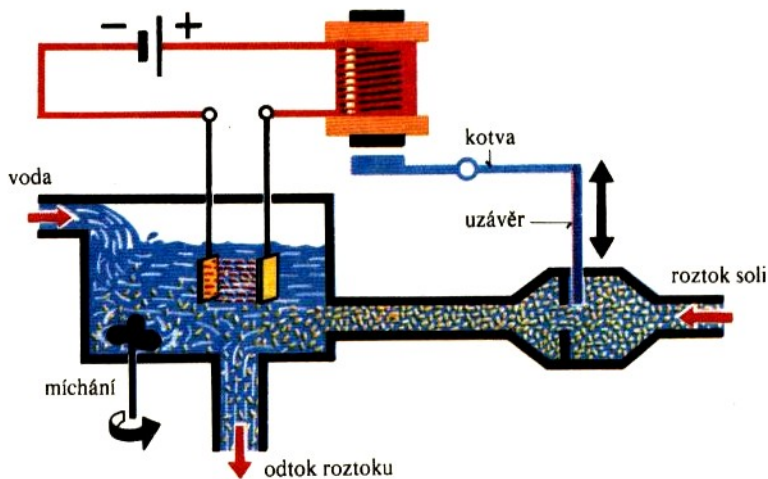
Elektrochemické relé slouží k přípravě roztoků s požadovanou koncentrací různých chemikálií. Čistá voda je sice dobrý izolátor, ale roztoky solí, kyselin a zásad jsou vodivé. Přítéká – li do nádrže roztok soli, potom při určité koncentraci soli ve vodě se zvýší proud cívkou natolik, že jádro přitáhne kotvu a přivře se ventil v potrubí, z něhož koncentrovaný

roztok soli přitéká. Jestli naopak koncentrace soli ve vodě poklesne, kotva odpadne a do nádrže začne opět přitékat koncentrovaný roztok soli (Obr.4.12).

Velmi jednoduchým spínacím prvkem je tzv. bimetal, tj. dvojice kovových pásků o různém koeficientu teplotní roztažnosti, pevně spojených. Funkce bimetalu je dokumentována na Obr.4.13.



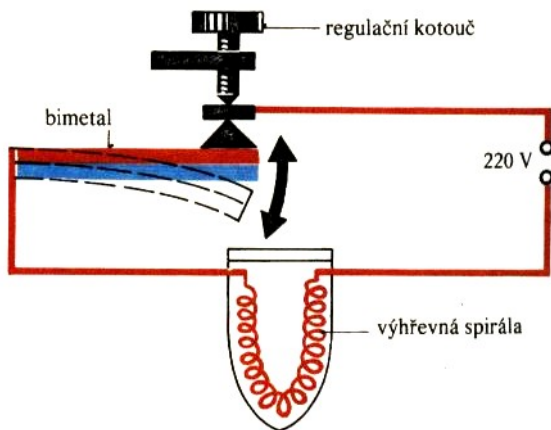
Obr.4.11. Spínací fotorelé.



Obr.4.12. Využití relé k automatickému udržování koncentrace roztoku.



Obr. 4.13. Bimetal jako spínací prvek.

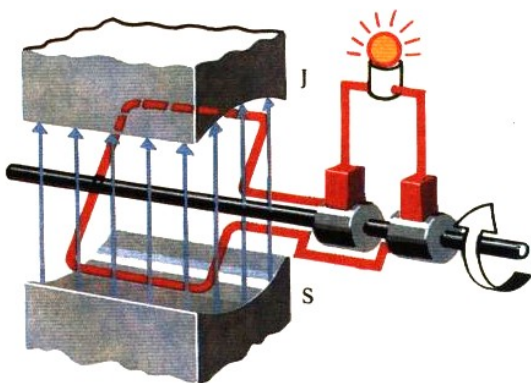


Obr.4.14. Funkce bimetalu v žehličce.

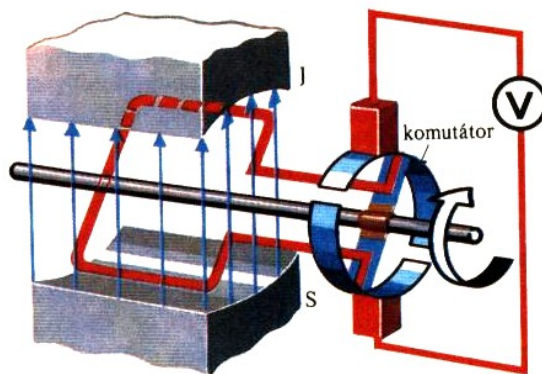
Na jevu elektromagnetické indukce je založena činnost *elektrických strojů točivých*. Fyzikálním základem činnosti *alternátorů a dynam* je Faradayův zákon elektromagnetické indukce

$$\mathcal{E}_i = - (d\Phi/dt)$$

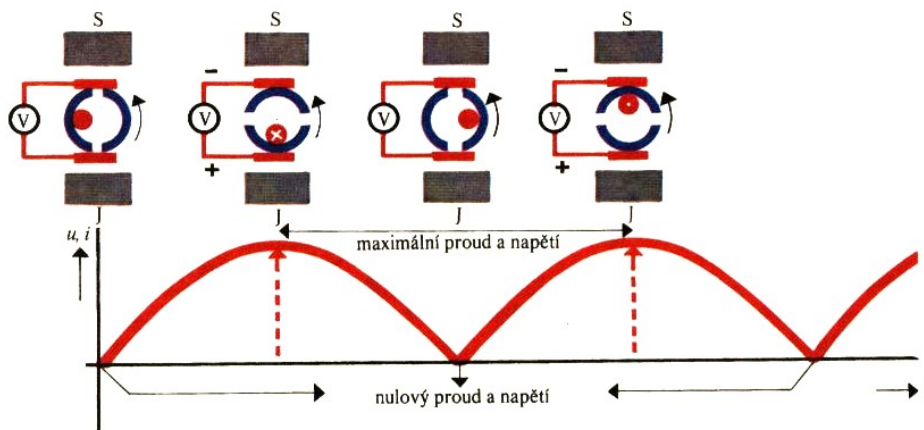
(\mathcal{E}_i je indukované elektromotorické napětí, Φ je magnetický tok $\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{S}$, \mathbf{B} je indukce magnetického pole a \mathbf{S} je orientovaný vektor plochy).



Obr.4.15. Alternátor



Obr.4.16. Dynamo.

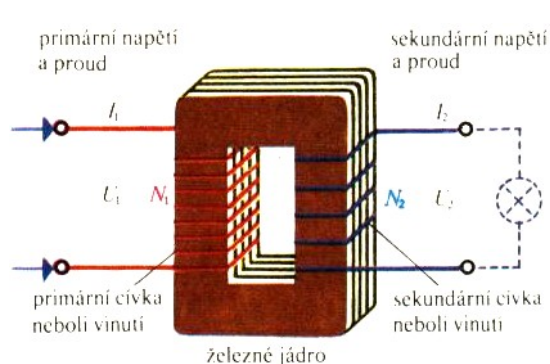


Obr.4.17. Funkce komutátoru dynamu.

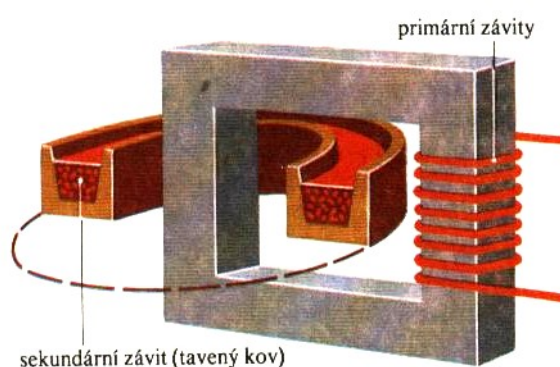
Indukované elektromotorické napětí lze tedy získat tak, že měníme magnetickou indukci, nebo plochu S , nebo obojí. Na Obr.4.15. je uvedeno schéma alternátoru (zdroj střídavého proudu) a na Obr.4.16. schéma dynama (zdroj stejnosměrného proudu). V obou případech je magnetická indukce B konstantní a mění se průmět plochy S do směru B . Schéma funkce komutátoru dynama je uvedeno na Obr.4.17.

Naopak změny magnetické indukce B při konstantní ploše S se využívá v **transformátorech**, tj. zařízeních, umožňujících změnu proudu nebo napětí střídavého proudu. Schéma transformátoru je uvedeno na Obr.4.18.. Napětí a počet závitů v primárním (1) a sekundárním (2) vinutí je dáno vztahem

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

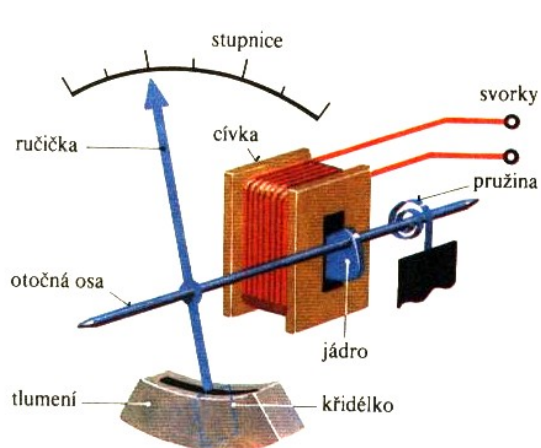


Obr.4.18. Transformátor.

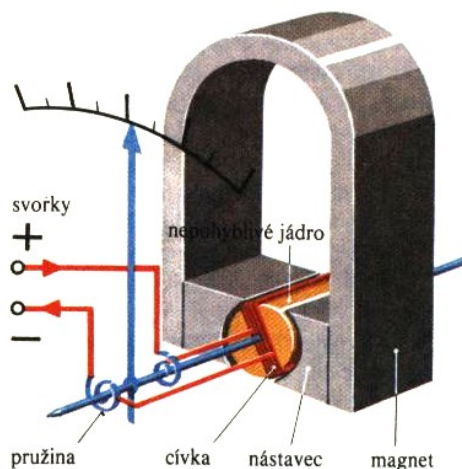


Obr.4.19. Indukční pec.

Zvláštním druhem „transformátoru“ je tzv. **indukční pec** (Obr.4.19.), která se využívá k tavení kovů. Primární vinutí pece se nijak neliší od jiných transformátorů. Sekundární vinutí je tvořeno jediným závitem taveného kovu, umístěného v kruhovém žlabu. Se snížením počtu závitů dojde k poklesu indukovaného napětí a zároveň k růstu intenzity proudu (výkon v obou vinutích transformátoru je stejný). Napětí ve žlabu je nízké (desítky V), ale proud dosahuje hodnot řádu 10^5 A. Taková intenzita proudu již roztaví i těžkotavitelné kovy.



Obr.4.20. Elektromagnetický měřicí přístroj.



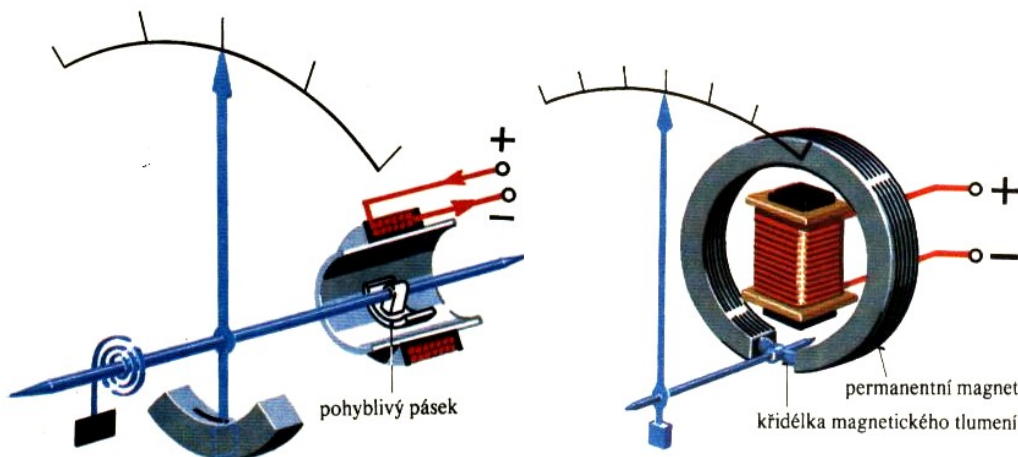
Obr.4.21. Deprézský měřicí přístroj.

Elektromagnetická indukce je rovněž základem většiny měřicích přístrojů (měření proudu a napětí).

Elektromagnetický měřicí přístroj pracuje tak, že čím větší proud prochází cívkou, tím více je do ní vtahováno jádro z měkké oceli (Obr.4.20.) a výsledek je převáděn na stupnici přístroje.

Magnetoelektrický (Deprézský) přístroj představuje ve své podstatě malý elektromotorek (Obr.4.21.). Magnetické pole permanentního magnetu působí na vodič, jímž prochází proud. Tím se vytváří kolem cívky magnetické pole a cívka se snaží natočit tak, aby indukční čáry jejího pole byly souhlasně rovnoběžné s indukčními čarami permanentního magnetu. Čím větší proud protéká cívkou, tím větší silou cívka překonává odpor pružinek a ručička ukáže příslušnou velikost proudu na stupnici přístroje. Tyto přístroje patří mezi nejdokonalější přístroje k měření stejnosměrného proudu (střídavý proud musíme usměrnit) a umožňují měřit proudy od 10^{-6} A.

Jiná varianta elektromagnetického měřicího přístroje je uvedena na Obr.4.22.. V dutině kruhové cívky se nacházejí dva pásy z magneticky měkké oceli, které se při průchodu proudu souhlasně zmagnetují a odpuzují silou, odpovídající velikosti magnetizačního proudu. Jiná konstrukce tohoto přístroje je znázorněna na Obr.4.23. Zde je otočná kotva udržována na příslušné výchylce místo pružinky magnetickým polem permanentního magnetu (přístroj je proto odolný proti otřesům).



Obr.4.22. Elektromagnetický měřicí přístroj.

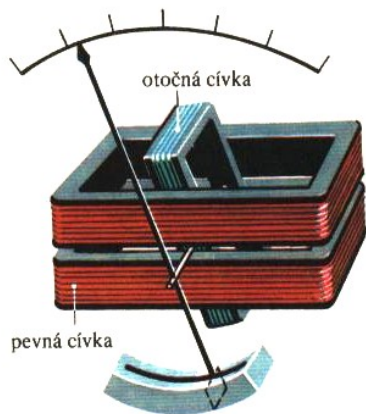
4.23. Jiná varianta elektromagnetického přístroje.

Elektrodynamické přístroje se skládají ze dvou cívek, navzájem zkřížených (Obr.4.24.). V tomto případě na sebe navzájem působí dvě magnetická pole obou cívek (opět se snaží zaujmout souhlasně rovnoběžnou orientaci).

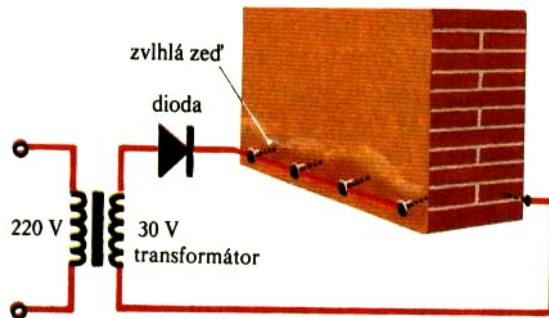
4.5. Využití elektrolýzy.

Některé z možností využití elektrolýzy v praxi byly uvedeny v kapitole 1. Zmíníme se ještě o některých dalších.

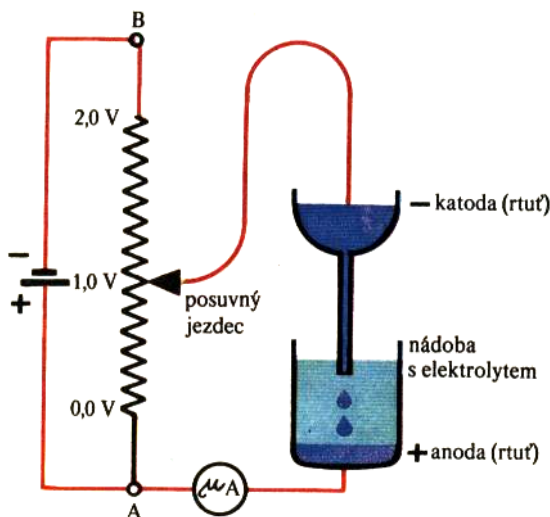
Vysoušení zdi. Stavební materiál, jakým jsou např. cihly a tvárnice, obsahuje velmi tenké kapiláry, kterými může vzlínat vzhůru od základů voda a zdi tak mohou být mokré do poměrně značné výšky. Vztlínání vody můžeme značně omezit pomocí elektrolýzy. Ve vodě jsou totiž rozpuštěny různé soli a vytvoříme – li pomocí vnějšího zdroje elektrický obvod (Obr.4.25.), dojde k rozkladu elektrolytu a částičky soli zaplní postupně kapiláry, čímž se omezí další vztlínání vody.



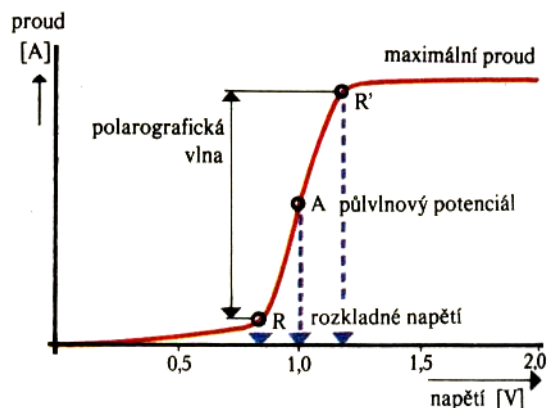
Obr.4.24. Elektrodynamický měřicí přístroj.



Obr.4.25. Vysoušení zdi pomocí elektrolýzy.



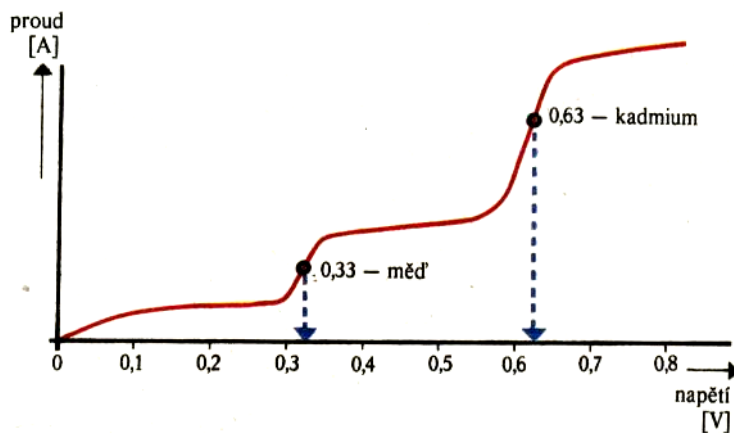
Obr.4.26. Polarograf



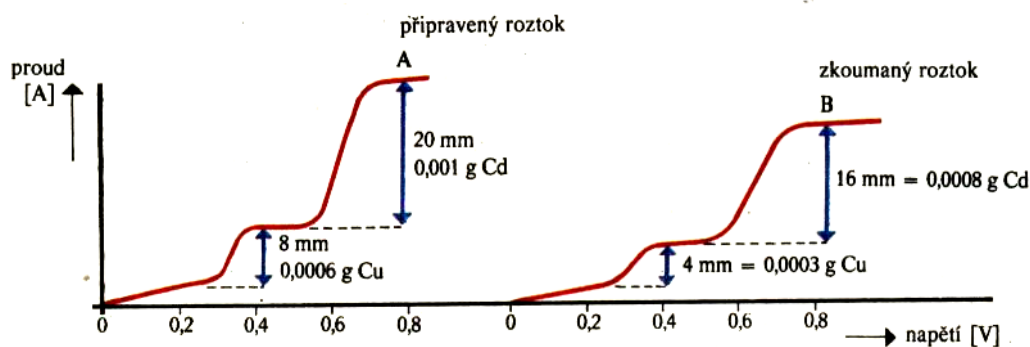
Obr.4.27. Polarografická křivka

Polarografie. Polarografie je metoda chemické analýzy a jejím základem je elektrolýza roztoku pomocí přístroje zvaného polarograf (Obr.4.26.). Polarograf se skládá ze zdroje stejnosměrného proudu, z potenciometru a citlivého mikroampérmetru k měření proudu v obvodu, ve kterém je dále ještě elektrolytická nádobka. V nádobce má funkci katody rtuť, odkapávající ze skleněné kapiláry, anodou je rtuť na dně nádobky. Tzv. kapková elektroda se užívá proto, aby její povrch byl stále čistý a bez usazenin (kationtů). Zvyšujeme – li pomocí potenciometru napětí na elektrodách, bude mít voltampérová charakteristika tvar, znázorněný na Obr.4.27. Zde bod R odpovídá tzv. rozkladnému napětí, od kterého začíná proud prudce růst a R' značí hodnotu, od které už proud dále neroste. Takový tvar voltampérové charakteristiky je způsoben tím, že proud není tvořen elektrony, jako je tomu u vodičů I. třídy, ale ionty. K tomu, aby vůbec ionty předaly nebo převzaly elektron na elektrodách, musí na nich být rozdíl potenciálů, rovný rozkladnému napětí (R). Při vyšším napětí se ionty nestačí k elektrodám rychleji pohybovat (hodnota R). Část křivky R – R' je tzv. polarografická vlna a bod A se nazývá půlvlnový potenciál. Experimentálně bylo zjištěno, že různé prvky, nebo skupiny prvků mají různý půlvlnový potenciál (např. Zn má

1,02 V, Cd má 0,63 V, Fe^{++} má 1,32 V, apod.) (Obr.4.28). Polarografická metoda umožňuje nejen kvalitativní (4.28a), ale i kvantitativní (4.28b) chemickou analýzu.



Obr.4.28 a) Kvalitativní polarografie



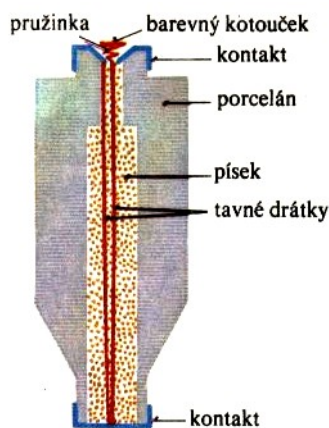
Obr.4.28b) Kvantitativní polarografie.

4.6. Pojistky a jističe.

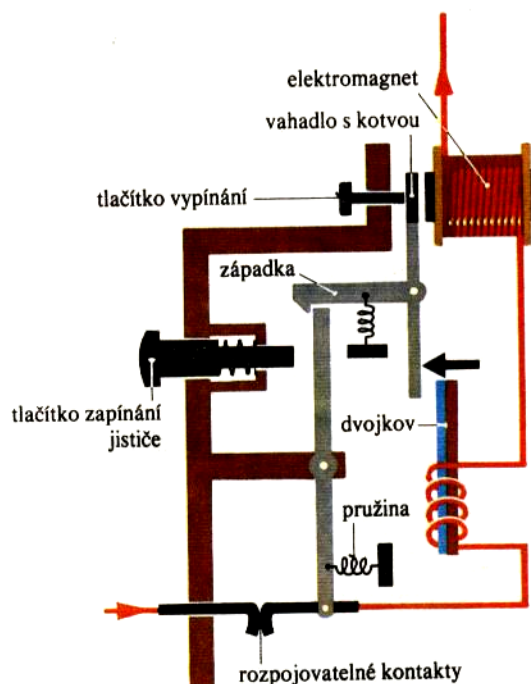
Tyto prvky slouží k ochraně elektrického obvodu před přetížením

Tavné pojistky. Tyto pojistky již pomalu mizí z vybavení domácností, laboratoří a výrobních provozoven. Tato pojistka se skládá z keramického obalu, tavného drátku a písku. Průměr drátku je takový, že při překročení povolené hodnoty proudu dojde k roztavení nejslabší části obvodu – tavného drátku (Obr.4.29.)

Modernějším zařízením, chránícím obvod před zkratem je **jistič**. Jeho schéma je uvedeno na Obr.4.30. a funguje následovně: vznikne – li v elektrickém obvodu zkrat, uvede zkratový proud do činnosti relé, jehož jádro přitáhne kotvu, západka se uvolní, pružina rozpojí kontakty a proudový obvod se přeruší. Takto zkonstruovaný jistič chrání obvod i před průchodem proudu nadměrné velikosti (ale nižšího, než je proud zkratový). Takový proud by mohl způsobit poškození některých prvků, nebo vodičů. Prochází – li tedy obvodem vysoký proud po delší dobu, začne se bimetal postupně ohřívat a prohne se tak, že nadzvedne kotvu, západka se opět uvolní, pružina rozpojí kontakty a obvod se přeruší. Z toho hlediska je jistič dokonalejším prvkem, než je tavná pojistka.



Obr.4.29. Tavná pojistka.



Obr.4.30. Jistič.

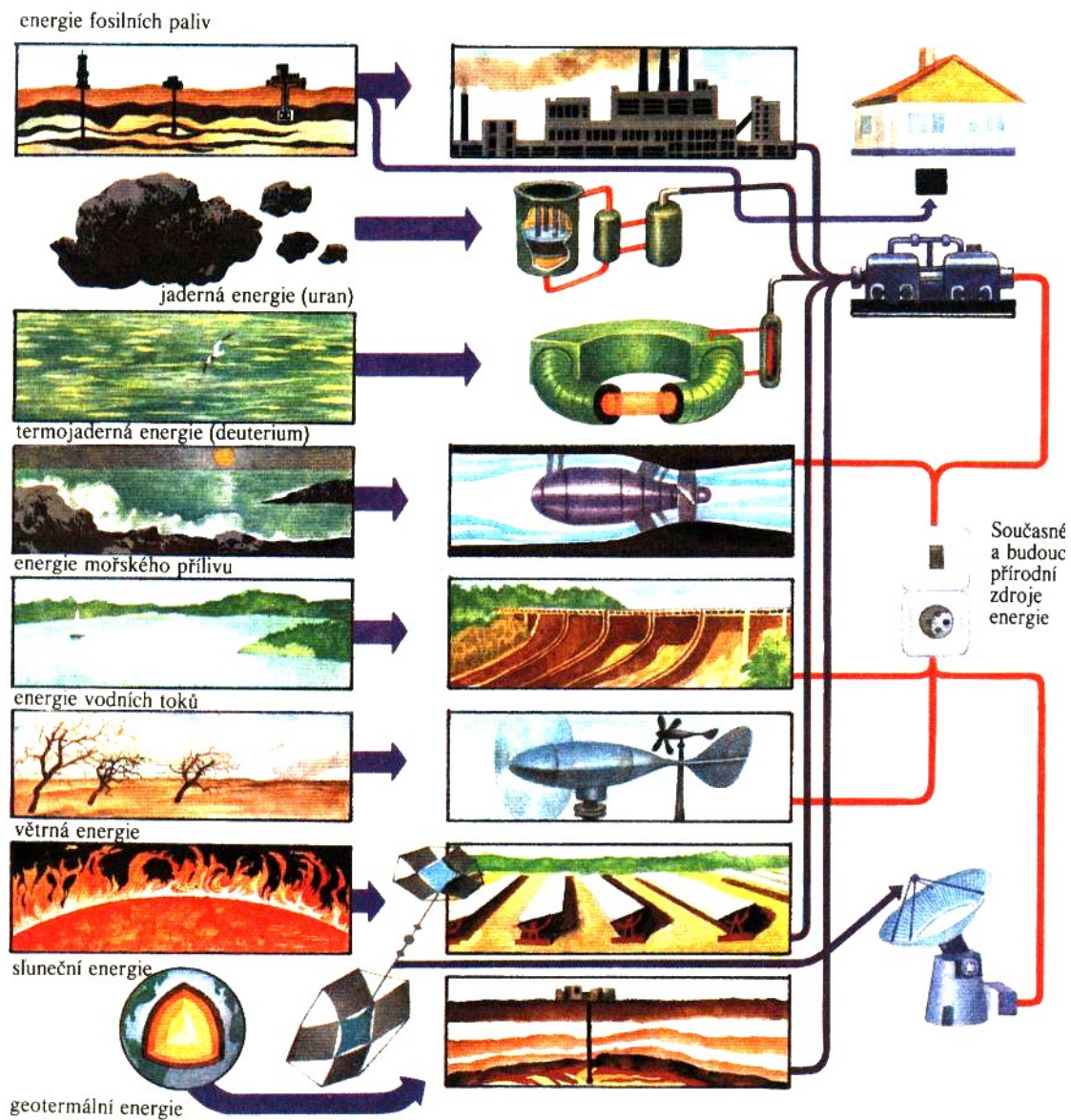
4.7. Výroba elektrické energie.

Elektrická energie je nejušlechtlejším zdrojem energie, neboť se dá přeměnit prakticky na každý z ostatních druhů energie (snad kromě energie jaderné). Proto je výzkumu zdrojů elektrické energie věnována značná pozornost. Elektrická energie je vyráběna z mechanické energie (vodní a větrné elektrárny), z energie jaderné (jaderné elektrárny), z energie chemické (spalováním různých druhů paliv), atd. Nemůžeme se věnovat dále všem zdrojům elektrické energie, ale uvedeme pouze ty méně známé, či perspektivní. Přesto na Obr.4.31 uvádíme grafický přehled hlavních způsobů získávání energie.

Palivové články. V palivových článcích se mění energie chemická přímo na energii elektrickou, aniž bychom museli palivo spalovat klasickým způsobem. Jeden z nejjednodušších palivových článků se skládá ze dvou elektrod, zhotovených z pórovitého materiálu, mezi nimiž je elektrolyt (Obr.4.32.). K vnějším stěnám elektrod je pod tlakem přiváděn plynný vodík a kyslík. V pórech kyslíkové elektrody vznikají reakcí kyslíku a vody anionty OH^- , které přecházejí do elektrolytu. V pórech vodíkové elektrody jsou molekuly vodíku ionizovány na kationty H^+ , které také přecházejí do elektrolytu a reagují s anionty OH^- za vzniku vody. Tím se na vodíkové elektrodě vytváří přebytek volných elektronů, a jestliže obě elektrody vodivě spojíme, budou se elektrony pohybovat ke kyslíkové elektrodě a obvodem bude protékat elektrický proud.

V současné době vědci, zabývající se zdroji energie soudí, že v blízké budoucnosti by se mohly palivové články stát slibným zdrojem energie a to zejména pro mobilní účely (elektromobily, lodě a snad i letadla). Potřebný vodík by byl získáván elektrolyzou vody v místech, kde je přebytek energie (energie z větrných elektráren, solárních článků, jaderné energie a podaří – li se to, i z jaderné fúze). Vodík by se tak stal „krví“ moderní civilizace a nahradil by tak ropu, jejíž zdroje již začínají slábnout. Celý projektovaný systém využití

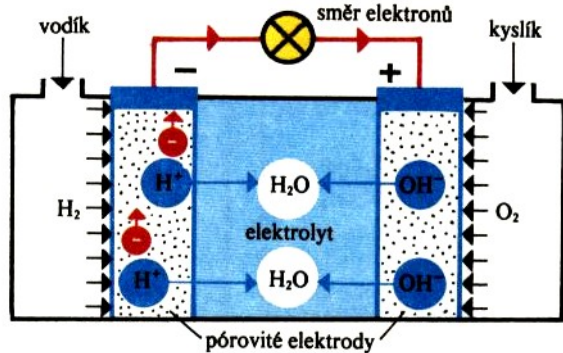
vodíku v technice se pak nazývá „vodíkové hospodářství“. Nyní existuje asi 20 druhů palivových článků, jejichž pracovní médium je různé (methylalkohol, zemní plyn, ropa, apod.). Všechny však pracují tak, že toto médium nakonec přemění na čistý vodík.



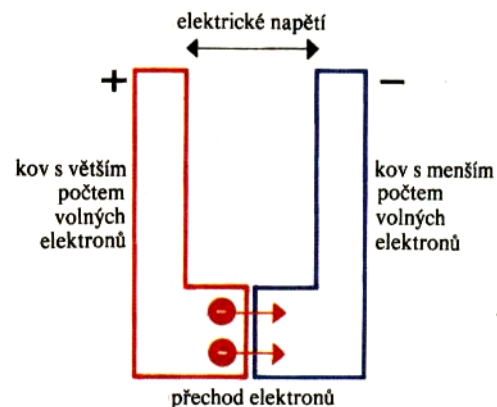
Obr.4.31. Hlavní způsoby získávání energie.

Termoelektrické články. Přestože slovní spojení „termoelektrický článek“ je velmi podobné spojení „palivový článek“, jedná se poněkud jiný systém. Jak je totiž známo, každý kov se skládá zhruba řečeno z kladných iontů a volných záporných elektronů, které váží k sobě kladné ionty (tzv. kovová vazba). Kovy jako celek jsou elektroneutrální, ale některé kovy mají vyšší koncentraci volných elektronů, než kovy jiné. Již několikrát (zejména v souvislosti s objasněním PN přechodu v polovodičích) jsme uvedli, že koncentrační spád je hybnou silou difúze. Proto spojíme – li (například svařením) dva kovy s odlišnými koncentracemi elektronů, dojde k difúzi elektronů z oblasti s vyšší koncentrací (kov A) do oblasti s koncentrací nižší (kov B).- Obr. 4.33. Tím se kov A nabije kladně a kov B záporně (ovšem pouze v oblasti velmi blízké rozhraní mezi oběma kovy). Vzniklý rozdíl potenciálů se

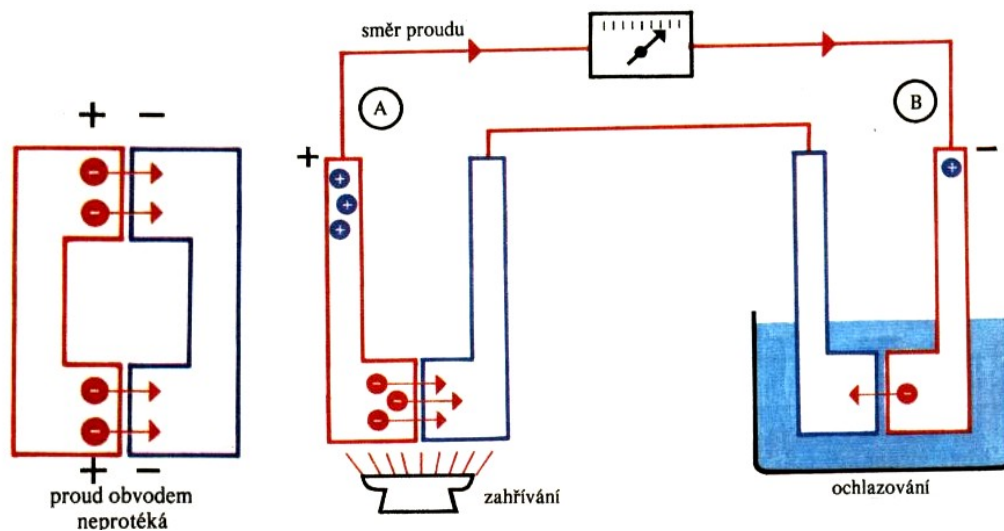
ale velmi rychle ustálí, neboť vzniklé elektrické pole brání přechodu dalších elektronů z A do B a ustaví se tzv. dynamická rovnováha. Rozdíl potenciálů však nelze chápat jako zdroj elektrického proudu, neboť k tomu, aby protékal proud, je třeba uzavřít obvod a v místě uzavření vznikne opačný rozdíl potenciálů, takže k průchodu proudu nedojde (Obr.4.34a.). Druhým faktorem, ovlivňujícím difúzi, je teplotní rozdíl. Zahřejeme – li jeden spoj a druhý budeme ochlazovat, bude difúze v horkém spoji mohutnější a vznikne termočlánek, tj. zdroj elektrické energie (bude protékat termoelektrický proud – Obr.4.34b.). Termočlánek se užívá převážně jako teplotní čidlo, ale není vyloučeno ani použití termočláneků, spojených do baterií jako zdrojů elektrického proudu a to zejména tam, kde je obtížné použít jiný zdroj energie. Tak například existují izotopové termoelektrické baterie, v nichž se využívá teplo, vzniklé rozpadem radioaktivních látek (využití v kosmických sondách, podmořských navigačních zařízeních, kardiostimulátorech, atd.). Některé speciální baterie, obsahující radioaktivní stroncium, mají napětí 24 V a výkon 12 W po dobu 5 let.



Obr.4.32. Princip palivového článku.



Obr.4.33. Princip termočláunku.

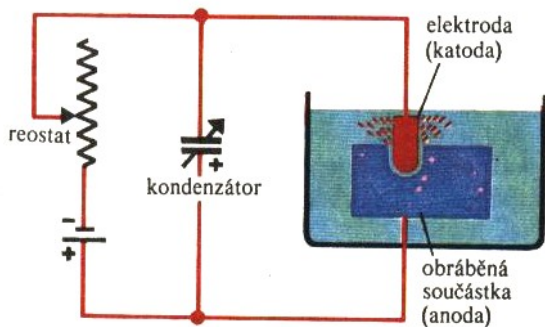


Obr. 4.34 a) Spoje termočláunku na téže teplotě, b) na různé teplotě.

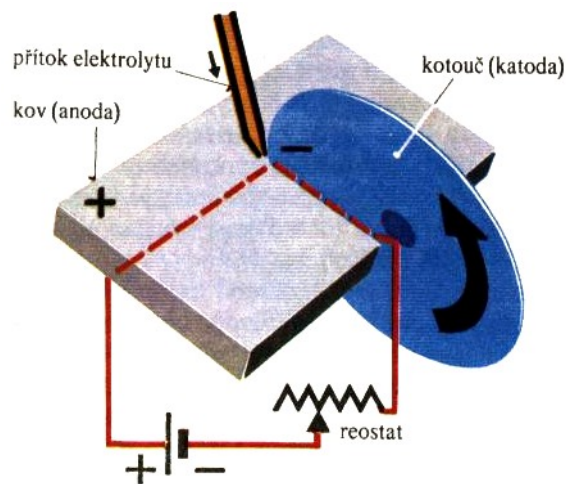
4.8. Výboje v plynech.

Využití jiskrového výboje. Výboje v plynech mají značné využití a o některých zajímavých přístrojích jsme se již zmínili v kapitole 2. Zde se zmíníme o **elektrojiskrovém obrábění** (Obr.4.35.). Tento způsob obrábění se užívá v případě obrábění velmi tvrdých kovů.

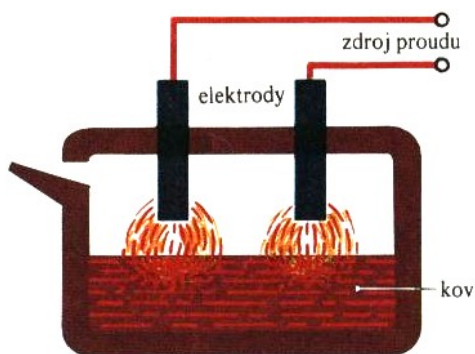
Takový kov spojíme s kladným pólem stejnosměrné baterie. Zapojíme – li proud, regulovaný reostatem, začne se kondenzátor nabíjet a při jisté hodnotě napětí přeskočí jiskra, která způsobí zahřátí obráběné součástky na teplotu vyšší, než je bod tání kovu. Tak se v místě uzavření jiskry vytvoří malý kráter, část kovu se odpaří a část roztaveného kovu odpadne do chladicí kapaliny. Tento proces se velice rychle opakuje a tak můžeme součástku opracovat (vrtat otvory). Na podobném principu funguje jiskrové řezání kovů (Obr.4.36.). I zde využíváme účinků elektrické jiskry na kov a navíc mechanického účinku otáčejícího se ocelového kotouče, jehož tvrdost nemusí být větší, než tvrdost řezaného materiálu. V tomto případě nepoužíváme k vytváření jiskry kondenzátoru, ale účinků elektrického proudu na elektrolyty. Vyplňujeme – li totiž prostor mezi katodou a anodou (kotoučem a součástkou) stále přitékajícím elektrolytem, vyloučí se na anodě pevná izolační látka a tím se proudový okruh přeruší. Přibližujeme – li otáčející se kotouč k řezané součástce, poruší se izolační vrstvička a od katody k anodě (od kotouče k součástce) přeskočí jiskra, která má stejné důsledky jako jiskra v případě elektrojiskrového obrábění. V mezeře dojde opět k rozkladu elektrolytu, k vytvoření ochranné izolační vrstvičky, k jejímu novému narušení, ke vzniku jiskry, což se stále opakuje.



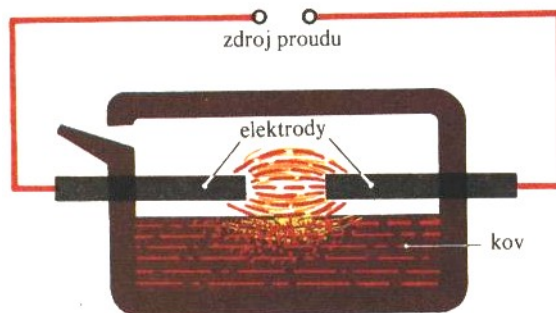
Obr.4.35. Elektrojiskrové obrábění kovů.



Obr.4.36. Elektrojiskrové řezání kovů.

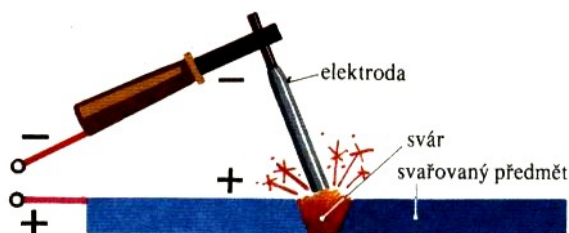


Obr.4.37. Oblouková pec s přímým ohřevem.

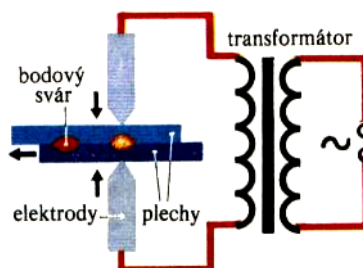


Obr.4.38. Oblouková pec s nepřímým ohřevem.

Obloukového výboje se užívá v obloukových pecích s přímým ohřevem (Obr.4.37.). Takto se taví některé obtížně tavitelné kovy a některé druhy ocelí. Dochází však přitom k poměrně značným ztrátám kovu (odpařování), případně k nežádoucímu znečištění kovu uhlíkem. K tavení některých drahých kovů se používá obloukových pecí s nepřímým ohřevem (Obr.4.38.). V těchto pecích se využívá sálavého tepla oblouku mezi dvěma uhlíkovými elektrodami, umístěnými poblíž povrchu kovu. Ztráty kovu jsou v tomto případě malé, ale zato spotřeba elektrického proudu je vyšší. Těchto pecí se též používá při vypalování keramických výrobků, při vypalování smaltů, apod. Asi 90 % všech elektrických pecí, používaných v průmyslu, jsou pece obloukové.

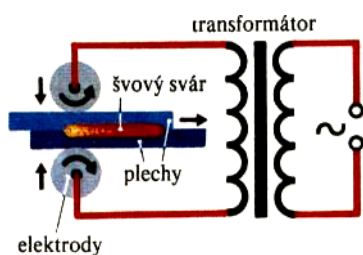


Obr.4.39a) Svařování obloukové

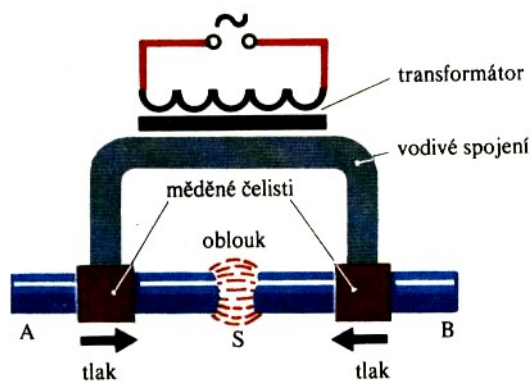


Obr.4.39 b) Bodové svařování

Tradiční je využití elektrického oblouku při **svařování**. Klasický způsob svařování je svařování obloukové (Obr.4.39a), bodové (4.39b), případně švové (4.40).



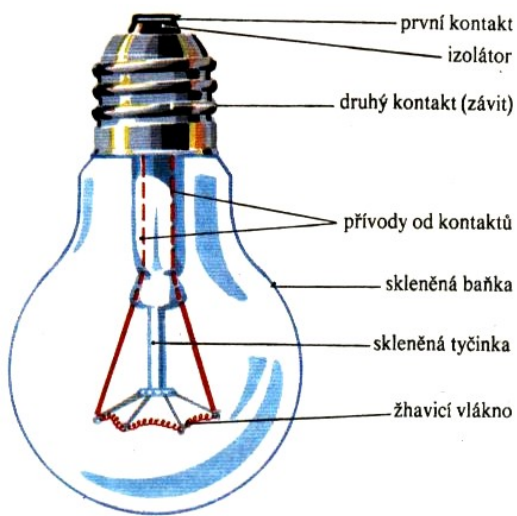
Obr.4.40. Svařování švové.



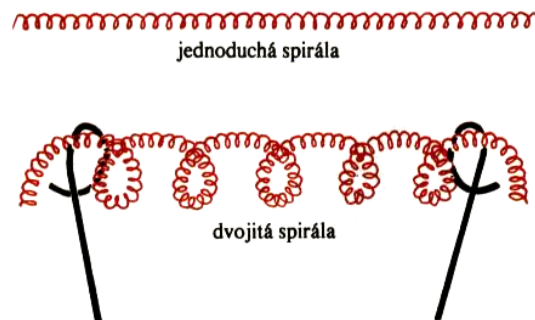
Obr.4.41. Svařování na tupo.

K odporovému svařování větších dílů se používá tzv. **svařování na tupo**. (Obr.4.41.). Chceme – li spojit např. dvě ocelové tyče A a B v bodě S, upneme je do měděných čelistí, které jsou vodivě spojeny silnými měděnými vodiči. Čelisti je možné navzájem proti sobě posouvat a regulovat tlak, kterým na sebe navzájem působí. Z obrázku vidíme, že měděné čelisti spolu s částmi tyčí tvoří jediný sekundární závit transformátoru. V tomto závitě vznikne sice jenom malé napětí (~ 10 V), ale velký proud (až 10^5 A). Tyče se přitlačí k sobě nejdříve pouze malým tlakem, takže protékající proud rozžhaví konce tyčí. Ty pak od sebe mírně oddálíme, takže mezi nimi vznikne elektrický oblouk a tyče se začnou tavit. Poté tyče k sobě stlačíme velkým tlakem, snížíme proud a ukončíme svařování. Odporové svařování je několikanásobně výkonnější, než svařování plamenem, nebo elektrickým obloukem.

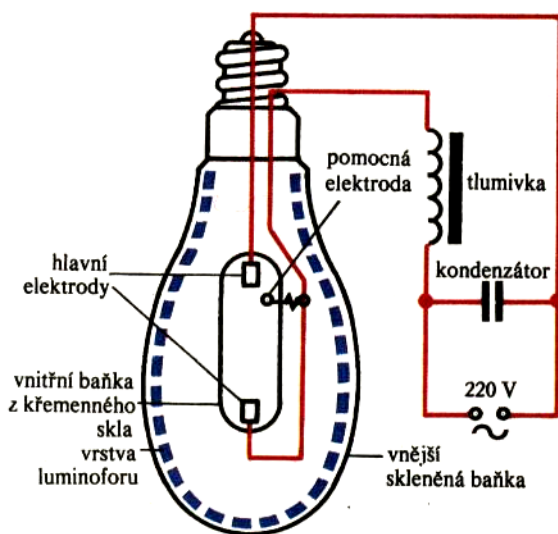
Přestože klasická **žárovka** (Obr.4.42.) již začíná pomalu mizet do sbírek technických muzeí, zmíníme se o ní krátce, neboť hrála v minulosti významnou roli v rozvoji lidské civilizace (je zařazena mezi 10 největších vynálezů lidstva). Nejdůležitější částí žárovky je žhavicí vlákno (Obr.4.43.), které je zhotoveno z velmi tenkého wolframového drátku (průměr drátku je 0,02 mm, tj. asi polovina průměru lidského vlasu). Tak malý průměr vlákna je důvodem pro to, aby vlákno mělo velký ohmický odpor (při pokojové teplotě činí cca 800 Ω). Vlákno má tvar jednoduché, nebo dvojité spirály, což umožňuje snadnější zahřátí vlákna a tím další růst odporu. Žárovky mají různý výkon (15 W, 25 W, 40 W, 60 W, 75 W, 100 W, atd.). Baňky žárovek jsou vzduchoprázdné, svítící vlákno má teplotu cca 2100 $^{\circ}\text{C}$. Výkonnější žárovky jsou plněny dusíkem, nebo vzácnými plyny. Životnost žárovek je za běžného provozu asi 1000 hodin, v exponovaných podmínkách (časté zapínání a vypínání, otřesy) může klesnout na pouhých 100 hodin.



Obr.4.42. Žárovka

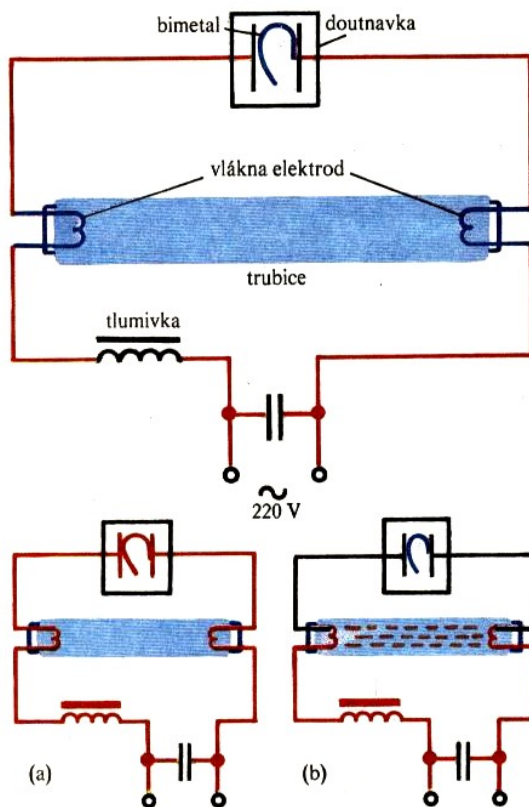


Obr.4.43. Spirála žárovky



Obr.4.44. Rtuťová výbojka.

Rtuťové a sodíkové výbojky. Pro osvětlení ulic se používají výbojky, plněné rtuťovými a sodíkovými parami. Tyto výbojky jsou ekonomičtější, než klasické žárovky. Spektrum jejich světla se však liší od denního světla více, než spektrum klasických žárovek. Schéma **rtuťové výbojky** je uvedeno na Obr.4.44. Výbojka se skládá ze dvou baňek. Vnější baňka je skleněná a její stěny jsou pokryty vrstvičkou luminoforu – fluorescenční látky, která po ozáření ultrafialovým světlem vydává světlo viditelné. Vnitřní baňka je vyrobena z křemičitého skla a jsou v ní zataveny dvě hlavní a jedna pomocná elektroda s ohmickým odporem v sérii a je vyplněna argonem s malým množstvím kapalné rtuti. Součástí rtuťové výbojky je i tlumivka, která udržuje v prvních okamžicích po zapojení proudu potřebné napětí na elektrodách. V obvodu je zařazen i kondenzátor, který zlepšuje účinnost obvodu. Po připojení výbojky na střídavé napětí vznikne mezi hlavní a pomocnou elektrodou nejdříve doutnavý výboj ve zředěném argonu, teplem tohoto výboje se kapalná rtuť postupně vypařuje a v určitém okamžiku (za 3 až 5 minut) vznikne mezi hlavními elektrodami doutnavý výboj v parách rtuti. Světlo výboje postrádá červenou barvu spektra a navíc má ultrafialovou složku a není tedy bílé, ale nazelenalé (z toho důvodu je potřebný luminofor na vnější baňce).



Obr.4.45. Zářivka

Sodíková výbojka má podobnou konstrukci jako výbojka rtuťová, ale není u ní potřebný luminofor. Vnitřní baňka je naplněna neonem a obsahuje malé množství pevného sodíku. Sodíkové výbojky mají ještě větší účinnost, než výbojky rtuťové a jejich životnost je asi 3000 hodin. Žlutooranžové světlo se liší svým spektrálním složením od světla denního a zkresluje tedy barevnost předmětů. Proniká však dobře mlhou a dýmem a proto se tyto výbojky používají k osvětlování letištních ploch, nádraží a ulic.

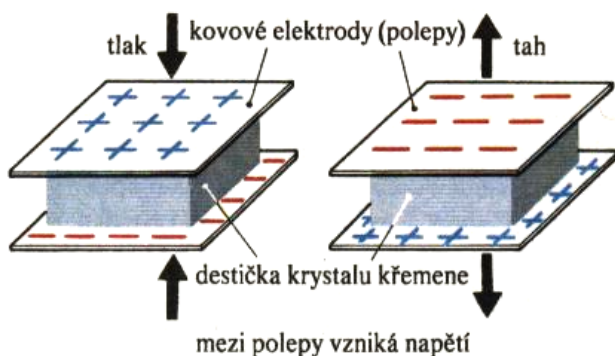
Zářivka je v podstatě rtuťová výbojka, jejíž konstrukce je poněkud upravena (Obr.4.45.). Skleněná trubice zářivky je naplněna většinou argonem a rtuťovými parami, vnitřní stěny trubice jsou pokryty luminoforem. Tlumivka a kondenzátor mají stejný účel, jako v případě rtuťové výbojky. Navíc je zde tzv. startér, což je malá doutnavka, jejíž jednu elektrodu tvoří bimetal, který zapíná a vypíná proud, procházející wolframovými vlákny elektrod, umístěných na opačných koncích trubice zářivky.

Připojíme – li zářivku na střídavé napětí 220 V, zářivka se ihned nerozsvítí, neboť její zápalné napětí je asi 400 V. Elektrický výboj vznikne nejdříve v doutnavce startéru, jejíž zápalné napětí je nižší, než 220 V. Uvolněným teplem se spojí kontakty bimetalového spínače, obvodem začne protékat proud, ten rozžhaví vlákna elektrod, termoemisí se z nich uvolní elektrony, které ionizují plyn uvnitř trubice. Současně se ale začne ochlazovat bimetalový spínač, protože při spojených kontaktech výboj doutnavky zanikl. Když se spínač ochladí natolik, že se kontakty rozpojí, vznikne na tlumivce samoindukční napětí, které na okamžik vzroste přibližně na 500 V a takové napětí způsobí elektrický výboj v trubici. Od tohoto okamžiku začne proud procházet jenom mezi elektrodami zářivky, protože tlumivka (odpor) sníží napětí na svorkách elektrod na 110 V a toto napětí stačí udržet výboj v trubici, nestačí však zapálit doutnavku a tím ohřát bimetalový spínač, protože doutnavka je konstruována tak, aby její zapalovací napětí bylo větší, než 170 V.

Z právě popsané činnosti zářivky plyne, že pokud se zářivka nerozsvítí, je zřejmě vadný startér. Pokud se zářivka nerozsvítí a na koncích trubice svítí jen rozžhavené elektrody, znamená to, že se kontakty startéru sice spojily, ale zůstaly spojeny i po vychladnutí a výboj v trubici nemůže vzniknout. V takovém případě je třeba zářivku vypnout, aby se nepřepálila wolframová vlákna a rovněž vyměnit startér.

4.9. Ostatní jevy.

Piezelektrický jev. Vyřízneme – li z krystalu křemene destičku a na její protilehlé stěny připevníme kovové elektrody (polepy), pozorujeme, že při stlačování a uvolňování destičky vznikají na polepech elektrické náboje (Obr.4.46.). Tento tzv. piezelektrický jev se v minulosti hojně využíval při konstrukci gramofonové přenosky, stále se využívá při konstrukci krystalového mikrofону, piezelektrického zapalovače plynu a zejména při konstrukci generátorů ultrazvukových kmitů (lze tak vytvořit kmity o frekvenci až 10^6 Hz). Rovněž různá tlaková čidla a čidla, měřící mechanické napětí např. na povrchu namáhaných součástí jsou vyrobena z piezelektrických krystalů.

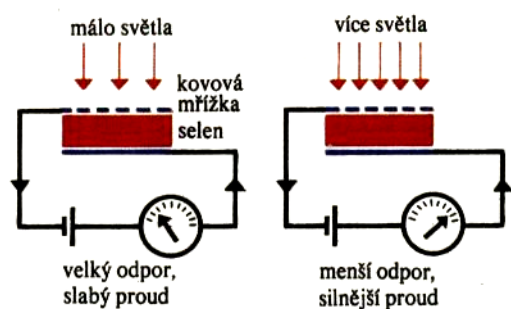


Obr.4.46. Piezelektrický jev.

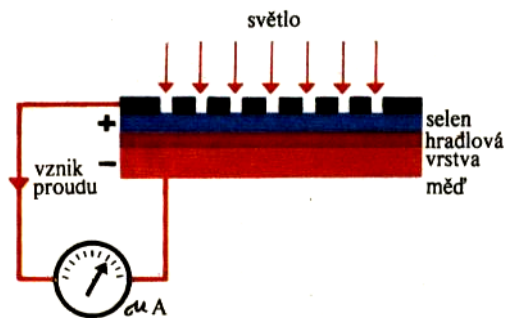
Fotoefekt. Osvětíme – li některé látky, pak tyto buď mění elektrický odpor, nebo ze svého povrchu uvolňují elektrony. (podstata fotoefektu). Dopadá – li světelné záření např. na

selen, tak se z valenčních orbitů jeho atomů uvolní elektrony, které však nejsou emitovány z povrchu selenu, ale zůstanou uvnitř (tzv. vnitřní fotoefekt). Výsledkem je pokles elektrického odporu selenu s rostoucí intenzitou osvětlení (Obr.4.47). Elektronické prvky, které využívají tohoto jevu se nazývají fotoelektrické odpory (pokles odporu může činit až 3 řády).

Jiný fotoelektrický jev pozorujeme u zařízení, které se nazývá **fotočlánek** (někdy též **hradlový článek**). Na Obr.4.48. je uvedeno schéma jednoho z prvních fotočláneků, fotočláneku selenového. Na základní měděné destičce je nanesena tenká vrstvička látky, citlivé na světlo (selen) a na ní je nanesena velmi tenká, polopropustná vrstvička zlata, nebo platiny.

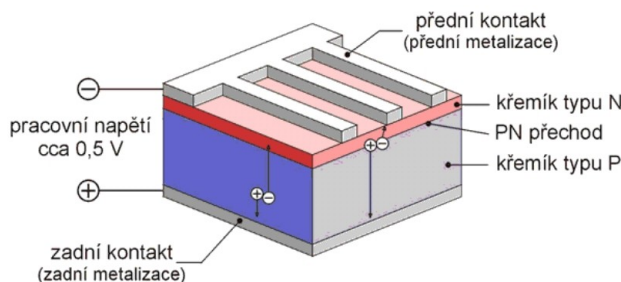


Obr.4.47. Vnitřní fotoefekt



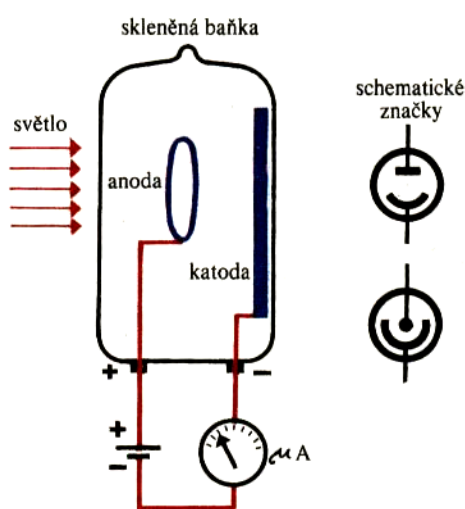
Obr.4.48. Hradlový článek.

Dopadne – li světlo na vrstvičku selenu, vzniknou v něm volné elektrony. Mezi selenem a mědí se vytvoří tzv. hradlová vrstva (obdoba PN přechodu v polovodičích), v níž dochází k přechodu volných elektronů do mědi. Tím se měď nabije záporně, mezi mědí a kovovou mřížkou vznikne elektrické napětí a při vodivém spojení začne obvodem protékat elektrický proud (poměrně slabý). Nástupcem hradlového článku je v současné době intenzivně zkoumaný **fotovoltaický článek**. Ten může být v blízké budoucnosti velmi slibným zdrojem elektrické energie pro lidstvo. V současné době se více jak 85 % všech fotovoltaických článků vyrábí technologií tlustých vrstev, tj. jako velkoplošné PN diody. Jejich výroba je dosti náročná a nákladná a proto jsou intenzivně hledány jiné levnější technologické postupy (technologie tenkých vrstev a různé nekrémikové technologie). Princip činnosti fotovoltaického článku je velmi podobný principu článku hradlového, pouze místo slovního spojení „hradlová vrstva“ použijeme „PN přechod“ (Obr 4.49a.). V posledních několika letech vzniklo i v ČR velké množství solárních elektráren (zejména díky státním dotacím na proud z nich získaný – Obr.4.49b.)

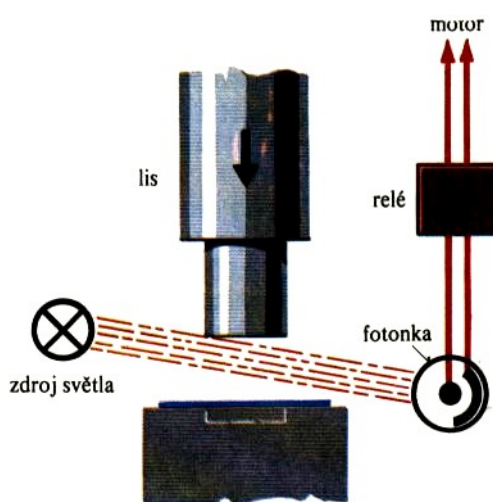


Obr.4.49 a) Princip činnosti fotoeketrického článku. b) Fotoelektrický článek v praxi.

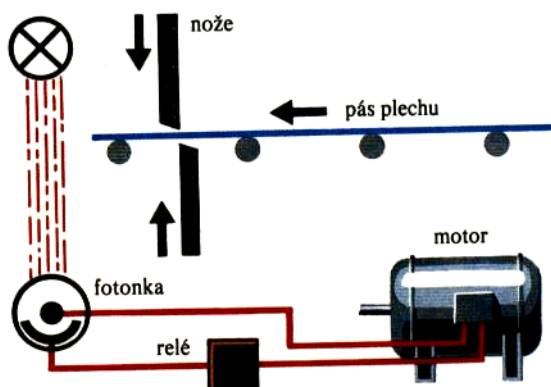
Dopadá –li světlo na povrch alkalických kovů (cesium, draslík, sodík, atd.), pak tyto látky emitují ze svého povrchu volné elektrony (na rozdíl od vnitřního fotoelektrického jevu, kdy zůstaly uvnitř látky). Situace je znázorněna na Obr.4.50 a funkce tzv. **fotonky** je z tohoto obrázku zřejmá. Využití fotonky je názorně vidět z Obr.4.51 – ochrana před pracovním úrazem. Má – li pracovník ruku v pracovním prostoru lisu, je proud světla přerušen a spínací zařízení lisu je vypnuto. Jiný příklad využití fotonky je uvedeno na Obr.4.52 –automatické stříhání plechů. Světlo dopadá ze zdroje na fotonku, která je zapojena v obvodu, ovládajícím pohyb stříhacích nožů. V situaci na obrázku jsou nože oddáleny. Jestliže pás pohyblivého se plechu přeruší světelný tok, fotorelé pohyb válců na okamžik zastaví, současně se zapojí motor, ovládající nože, nože plech přestříhnou a celý děj se znovu opakuje. Podobně fungují zařízení na udržování hladiny ve sklářské peci, k zapínání a vypínání pouličního osvětlení při soumraku a svítání, k automatickému otvírání a zavírání dveří při vstupu lidí do různých budov či výtahů.



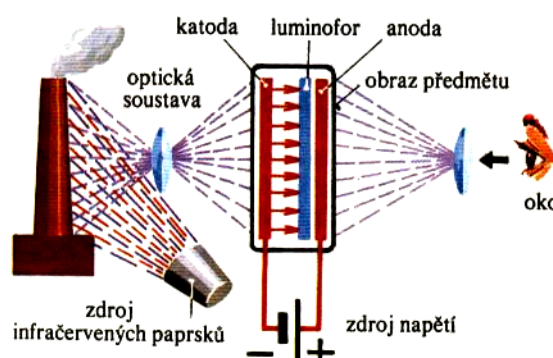
Obr.4.50. Schéma fotonky.



4.51. Jedno z možných využití fotonky v praxi.



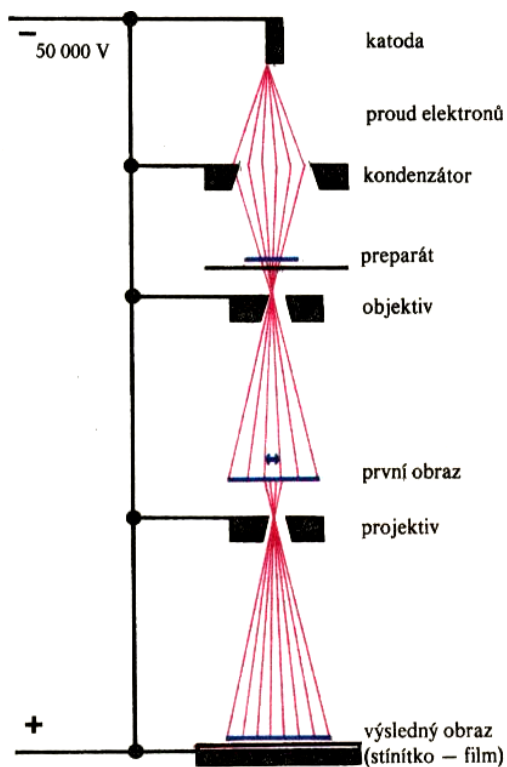
Obr.4.52. Využití fotonky při automatickém stříhání plechů.



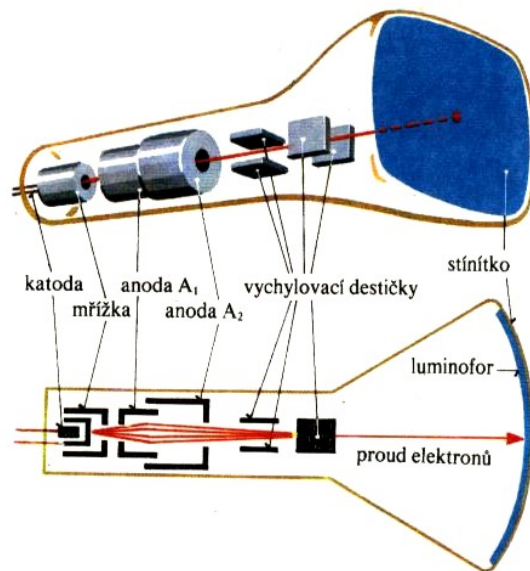
Obr.4.53. Přeměna infračerveného záření na viditelné světlo.

K fotoemisi elektronů ve fotonce dochází i při ozáření infračervenými paprsky. Na tom je založen přístroj, umožňující „vidět“ infračervené záření. Schéma takového přístroje je uvedeno na Obr.4.53.. Fotonku na tomto obrázku tvoří baňka ve tvaru dutého válce, katodu tvoří fotocitlivá vrstvička, na průsvitné anodě je nanesena vrstvička luminoforu. K elektrodám je připojen zdroj stejnosměrného napětí. Infračervené záření, odražené od předmětu (nebo jím přímo vydávané) dopadá na katodu, ze které účinkem vnějšího fotoefektu vylétují elektrony. Z míst více osvětlených se uvolňuje více elektronů, z míst méně ozářených méně elektronů. Účinkem elektrického pole mezi elektrodami se uvolněné elektrony urychlí, dopadají na anodu a na různých místech se luminofor rozzáří úměrně množství dopadajících elektronů (vytvoří se tak obraz předmětu).

Převratným vynálezem, který posunul naše znalosti téměř ve všech vědních oblastech o notný kus kupředu, byl a je **elektronový mikroskop**. V něm jsou světelné paprsky nahrazeny proudem elektronů, neboť vlnová délka je podle závěrů kvantové mechaniky tím kratší, čím je větší hmotnost částic a jejich rychlost. Proto můžeme pomocí elektronového mikroskopu dosáhnout zvětšení až 10^6 krát. Zdrojem proudu elektronů je kovová katoda, která po nažhavení vysílá elektrony. Ty jsou urychlovány elektrickým polem o napětí desítek tisíc voltů. Proud elektronů prochází tzv. elektronovou čočkou, kterou tvoří elektrické pole zvláštního kondenzátoru, nebo magnetické pole cívky. Taková čočka zaručí zvětšení a soustředí elektrony na preparát a postupně vznikne výsledný obraz (Obr.4.54.). Celý systém je uložen v evakuované válcové nádobě.



Obr.4.54. Elektronový mikroskop.

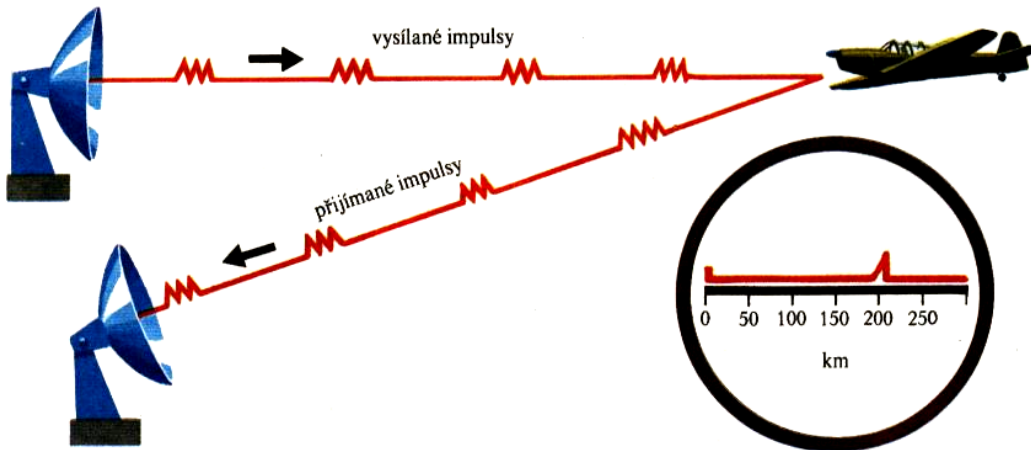


Obr.4.55. Elektrostatická obrazovka.

Dalším významným přístrojem, který znamenal a ještě znamená významný přínos pro vědu i zábavu, je **obrazovka** (Obr.4.55.) . Zdrojem elektronů je zde opět žhavená katoda. Elektrony z ní vylétující jsou (poněvadž se v paprsku odpuzují) fokusovány do úzkého svazku pomocí mřížky a anody zvláštního tvaru a nakonec vychylovány ve směru horizontálním i

vertikálním pomocí elektrostatických vychylovacích destiček (elektrostatické vychylování je často nahrazováno magnetickým). Elektrostatické vychylování se používá u osciloskopů a elektromagnetické u běžných obrazovek starších televizorů.

Elektromagnetické vlny se chovají jako světlo, to znamená, že se odrážejí od pevných látek. Na tomto principu byl zkonstruován v 30. letech minulého století přístroj, který znamenal zásadní převrat v leteckých bojích 2. světové války a je stále zdokonalován – **radar**. Princip činnosti radaru je znázorněn na Obr.4.56.. Radar nám umožňuje určit směr, vzdálenost a rychlost předmětu tak, že změříme časový rozdíl, který potřebuje elektromagnetická vlna k tomu, aby překonala vzdálenost od místa vyslání k předmětu a po jejich odrazení k návratu zpět.



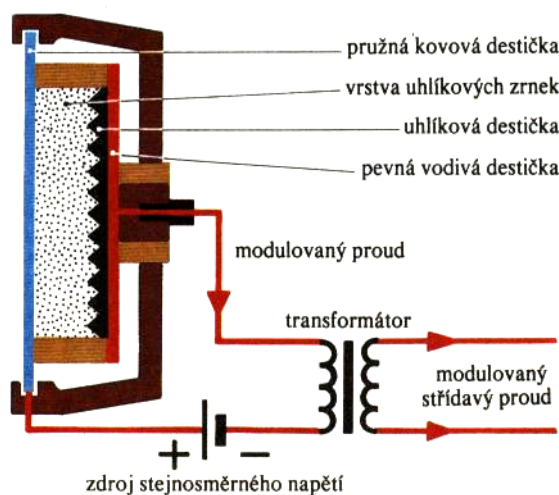
Obr.4.56. Princip činnosti radaru.

Mikrofon. Jako první byl zkonstruován mikrofon uhlíkový (Edison) – Obr.4.57. Jeho činnost je následující: zvukové vlny jsou ve své podstatě změny tlaku vzduchu, šířící se podélně od zdroje zvuku. Tyto vlny dopadnou na pružnou membránu mikrofonu a rozechvějí ji v rytmu vysílaného zvuku. Zrnka uhlíku se stlačují ve stejném rytmu jako membrána a ve stejném rytmu se mění i elektrický odpor uhlíkové vrstvy. Změna odporu znamená i změnu napětí v primárním okruhu transformátoru. Tak vznikne v sekundárním obvodu střídavý proud, modulovaný podle dopadajících zvukových vln. Uhlíkové mikrofony jsou velmi citlivé, avšak částečně zkreslují přijímaný zvuk a mají též šum. Proto se používají tam, kde příliš nezáleží na věrnosti přenosu zvuku (telefon). Dokonalejší je *mikrofon elektromagnetický* (Obr.4.58.). Jeho základní součástí je cívka, pohybující se volně v úzké vzduchové mezeře mezi póly permanentního magnetu. Dopadají – li zvukové vlny na membránu, která je spojena pevně s cívkou, membrána se rozkmitá a spolu s ní i cívka, ve které se díky magnetickému poli permanentního magnetu začne indukovat elektrický proud, modulovaný v rytmu dopadajícího zvuku. *Mikrofony krystalové* (Obr.4.59.) využívají piezoelektrického jevu, o kterém jsme se již zmínili.

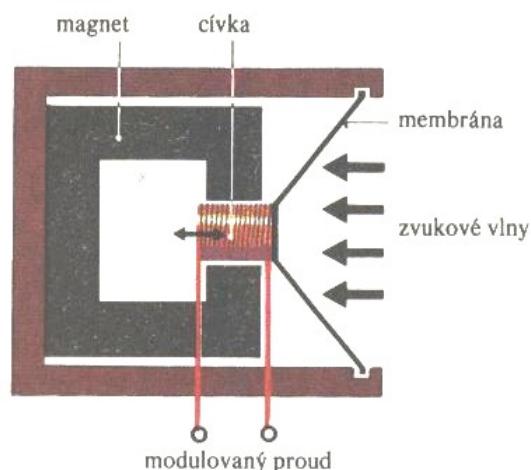
Reproduktor je svým způsobem opačně fungující mikrofon. *Telefonní sluchátka* (Obr.4.60.) jsou založena na principu elektromagnetu. Na pólových nástavcích permanentního magnetu jsou nasunuty dvě cívky s mnoha závity tenkého drátu. Těsně nad pólovými nástavci je upevněna kruhová membrána z pružného ocelového plechu, silného 0,4 mm. Prochází – li cívkami modulovaný elektrický proud, vzniká v mezeře mezi nástavci a membránou měnící se magnetické pole, které rozkmitá membránu v rytmu zvuku. *Elektromagnetický reproduktor* (Obr.4.61.) se skládá z cívky, pevně spojené s papírovou zvukovou membránou ve tvaru kužele. Volný pohyb cívky v mezeře udržuje středící membrána. Modulovaný proud,

protékající cívkou, způsobí, že cívka, nasazená na permanentním magnetu se rozkmitá a spolu s ní se rozkmitá i membrána.

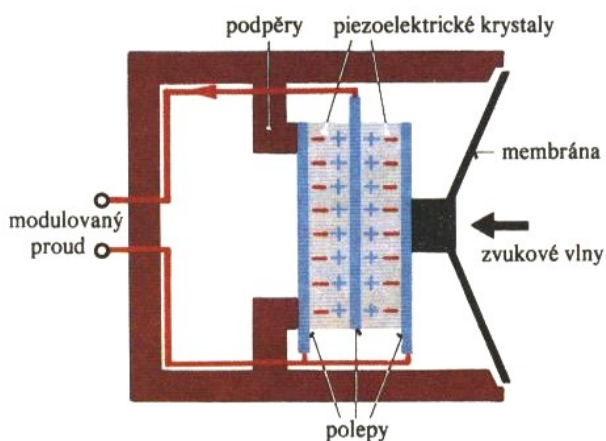
Průměrný kmitočtový rozsah vnímaných zvuků je u člověka v mezích 20 Hz – 16 000 Hz. Neexistuje žádný reproduktor, který by pokryl celou tuto oblast, neboť zvuk, vydávaný reproduktorem závisí na jeho geometrických rozměrech – malý reproduktor nemůže vydávat zvuky s nízkou frekvencí. Proto chceme – li vnímat kvalitní zvuk (např. hudbu), musíme vytvářet reproduktorové soustavy z několika reproduktorů.



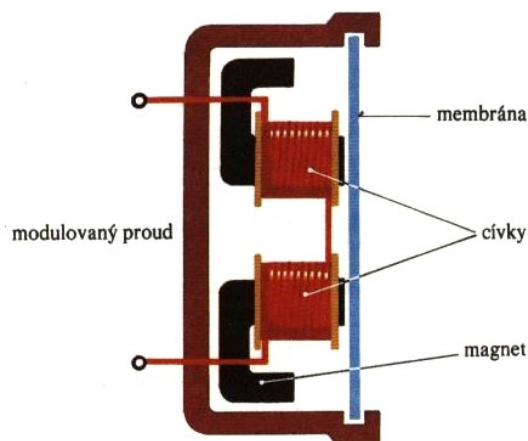
Obr.4.57. Uhlíkový mikrofon.



Obr.4.58. Elektromagnetický mikrofon.



Obr.4.59. Piezoelektrický mikrofon



Obr.4.60. Telefonní sluchátka.

4.10. Šíření elektromagnetických vln

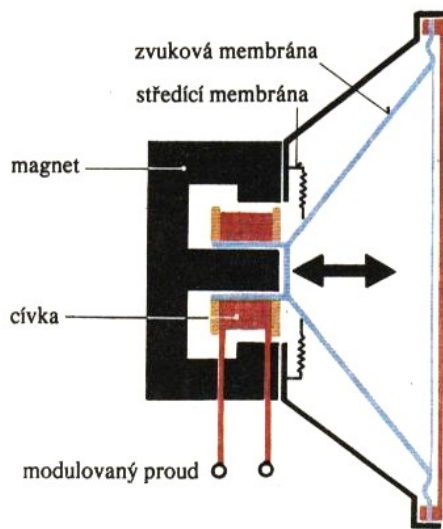
Z důvodů historických uvedeme i schéma a stručný popis přístroje, který sehrál velkou roli při přenosu zpráv – **telegrafu**. Jeho schéma je na Obr.4.63. (tzv. Morseův telegraf). Stiskneme – li telegrafní klíč, spojí se kontakty, uzavře se obvod a elektromagnet přitáhne kotvu. Psací hrot napíše potom na odvíjející se papír čárku nebo tečku Morseovy abecedy. Přenosu zpráv pomocí telegrafu se již nepoužívá. Telegraf byl nahrazen přenosem zvuku i obrazu pomocí elektromagnetických vln (Obr.4.62.). **Dlouhé vlny** se šíří od vysílače podél

povrchu Země, snadno se ohýbají podél terénu a mohou překonávat značné vzdálenosti. Jsou však dosti rušeny např. jiskřením elektrických spotřebičů, nebo atmosférickými poruchami.

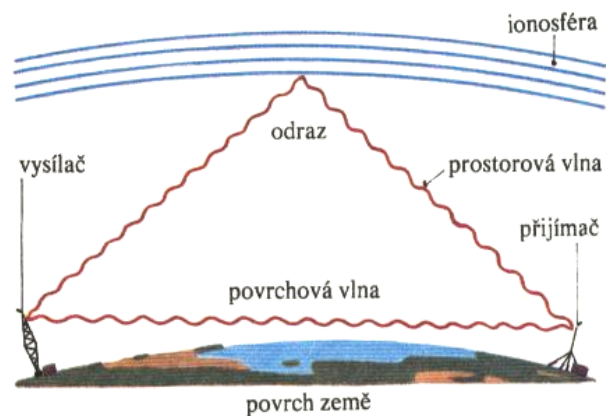
Střední vlny mají podobné vlastnosti jako vlny dlouhé, ale jejich dosah je menší. Jsou však méně rušeny.

Krátké vlny se šíří převážně tak, že se odrážejí od ionosféry (vrstvy ionizovaného vzduchu ve výšce 80-100 km) Může se tak stát, že je nezachytí přijímače nepřilíš vzdálené, ale naopak je zachytí přijímače na druhém konci Zeměkoule (zejména používá – li radioamatér Morseovy abecedy).

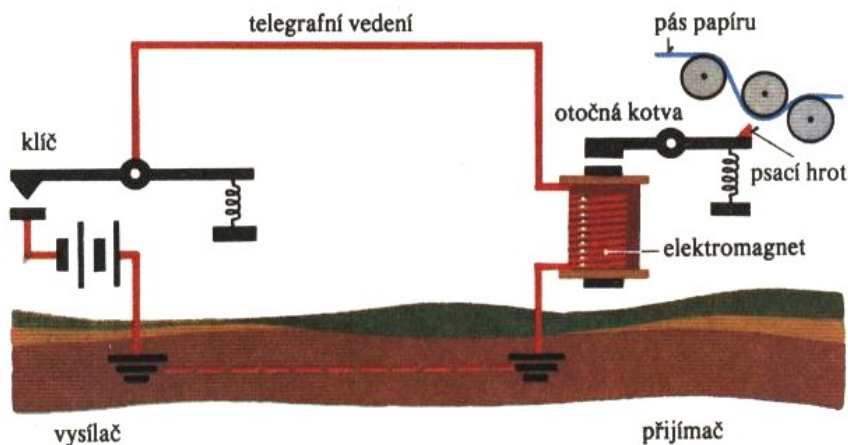
Velmi krátké vlny (VKV) pronikají ionosférou a neodrážejí se od ní. Ani podél povrchu Země se nešíří příliš daleko, dá se zhruba říci, že pouze na dohled. Proto je zachytíme jenom v nepřilíš velké vzdálenosti od vysílače. Někdy to může být výhoda – na jedné frekvenci může vysílat i několik vysílačů, dostatečně od sebe vzdálených. Současný televizní i rádiový přenos je uskutečňován pomocí frekvenčně modulovaných (FM) VKV. Chceme – li vysílat na větší vzdálenosti, musíme používat retranslačních stanic, nebo spojových satelitů.



Obr.4.61. Elektromagnetický reproduktor.



Obr.4.62. Šíření radiových vln.



Obr.4.63. Morseův telegraf

4.11. Využití elektrického proudu v medicíně.

Tak jako každý obor lidské činnosti, je i medicína závislá na činnosti různých přístrojů a většina z nich využívá elektrického proudu.

Franklinizace je druhem léčby, který propagoval významný státník a vědec B. Franklin (je známa z filmu „Postřižiny“). Pomocí přístroje, vytvářejícího vysoké napětí (až 10^5 V), ale velmi malý proud, řádově μA (indukční elektrika, Teslův transformátor) se vytvoří vysokofrekvenční výboj, trvající pouze velmi krátký okamžik, asi $5 \cdot 10^{-5}$ s. Výboj vyvolá ionizaci vzduchu a vznikne ozón, který podráždí vegetativní nervový systém. Výsledkem je povzbuzení tvorby krve, úprava krevního tlaku, chuti k jídlu a kvality spánku.

Galvanizace. Vycházíme – li z podobnosti živé tkáně s elektrolytem (poměrně složitým), ve kterém probíhají elektrické děje, můžeme dojít k závěru, že vhodnou aplikací stejnosměrného proudu můžeme léčit některé nemoci. V případě galvanizace používáme poměrně velkých elektrod a stejnosměrného proudu, obvykle nepřerušovaného. Maximální intenzita elektrického proudu bývá v rozmezí 5 – 30 μA při napětí až 100 V. Doba aplikace proudu bývá až 60 min. Léčbu lze provádět i ve vodní lázni (hydrogalvanizace). Stejnosměrný proud vyvolá v organismu mírné zvýšení teploty, prokrvení tkání a transport iontů.

Elektrolytická chirurgie. Tato metoda slouží například k odstranění bradavic a k depilaci. Používá se stejnosměrného proudu o intenzitě 2 – 12 A, který se nechá působit asi 10 minut. Anodou je poměrně velká elektroda, která se přiloží kdekoliv. Katoda má formu jehly, která se zapíchne do bradavice. Vlivem elektrického proudu se vytvoří u katody alkalické prostředí, které vede k bobtnání a místnímu odumření tkáně. Bradavice posléze uschne, aniž zanechá viditelnou jizvu.

Iontoforéza. Tato metoda využívá opět stejnosměrného elektrického proudu ke vpravování léčiv do těla. Používá se dvou elektrod, z nichž menší je tzv. elektroda aktivní a druhá, velká se přikládá na libovolné místo těla. Obě elektrody jsou obaleny gázou, namočenou do fyziologického roztoku, na aktivní elektrodu navíc přidáme roztok s lékem, který chceme vpravit do tkáně. Při iontoforéze se používá napětí od 100 do 150 V a hustota proudu poblíž aktivní elektrody cca $0,5 \text{ mA/cm}^2$. Iontoforéza umožňuje vpravovat léky na místo jejich určení, pokud je poblíž povrchu těla (např. klouby), aniž procházejí trávicím traktem.

Faradizace je druhem elektroléčby, při kterém se používá střídavého proudu různé frekvence (5 – 500 Hz) a různého tvaru pulzu (sinusový, obdélníkový, exponenciální). Napětí lze měnit od 2 V do 200 V a intenzita proudu do 30 mA. Elektrody jsou podobné, jako v případě galvanizace. Touto metodou se léčí zejména poruchy některých druhů nervů a léčení ochrnutých svalů.

Elektrošok. Při aplikaci střídavého proudu o frekvenci kolem 50 Hz, napětí 100 V a intenzitě 300 mA na ústřední nervovou soustavu dojde u člověka ke křečovým záchvatům epileptického typu. Doba aplikace proudu je velmi krátká, 0,1 s – 1,5 s, přičemž doba trvání následného šoku je mnohem delší. Pacient ihned ztrácí vědomí a dochází u něho ke ztrátě paměti. Tato metoda bývá obvykle až to poslední, co lékaři zkoušejí (používá se u těžkých duševních poruch, jako je mani-deprese a schizofrenie). V poslední době je nahrazována jinými metodami.

Elektrospánek. Umělý spánek lze navodit užitím příslušných léků (hypnotik), ty však mohou mít po delším užívání neblahý vliv na játra a trávicí soustavu. Umělý spánek lze navodit použitím mírně kolísajícího galvanického proudu o intenzitě 0,2 mA – 1,5 mA při napětí 100 V.

D'arsonvalizace. D'Arsonvald pozoroval již v roce 1891, že střídavé proudy o frekvenci vyšší, než 10 000 Hz nedráždí nervovou soustavu, ani nevyvolávají křeče svalů. Pozorovány jsou pouze tepelné účinky těchto proudů. Při této metodě se užívá vysokofrekvenčních tlumených kmitů o frekvenci $5 \cdot 10^5$ Hz (na principu Teslova transformátoru). Primární cívka oscilačního obvodu přístroje se skládá z několika závitů o tak velkém průměru, že se dovnitř vejde člověk (nebo alespoň některá končetina), aniž se závitů dotýká. Druhou cívku tohoto Teslova transformátoru tvoří pacientovo tělo. Fyziologicky vyvolává d'arsonvalizace teplo, hluboké dýchání, pozitivní změny krevního tlaku, lehkou elektronarkózu a někdy i slabé křeče.

Diatermie. Teplo, vzniklé při d'arsonvalizaci není příliš velké, neboť se jedná o kmity tlumené. Chceme – li živou tkáň prohřát více, musíme použít některou z následujících metod tzv. diatermie:

1. Teplo, vzniklé v ohmickém odporu tkání (frekvence od 300 kHz do 1 MHz) – tzv. *klasická diatermie*.
2. Teplo, vzniklé v tkáních, jakožto nedokonalých izolátorech (v dokonalém dielektriku teplo nevzniká). K tomu se používá frekvence proudu od 15 MHz do 300 MHz – tzv. *diatermie v kondenzátorovém poli*.
3. Teplo, vzniklé v tkáních v důsledku vířivých proudů. K tomu je třeba použít frekvencí od 10 MHz do 50 MHz.
4. *Mikrovlnná (radarová) diatermie* (frekvenční rozsah 300 MHz – 3000 MHz)

Elektrochirurgie. Tepla, vzniklého působením vysokofrekvenčních proudů lze použít k chirurgickému rozrušení tkáně. Elektrický proud o frekvenci 10^6 Hz a výkonu 100 W – 150 W, koncentrovaný do okolí malé elektrody (hrotu, skalpelu) způsobí ohřátí na teplotu asi 80°C . Druhá elektroda je poměrně velká. Elektrochirurgické metody lze rozdělit následovně:

1. *Elektrotomie* – řez je prováděn jiskrami, které tkáň hladce spalují. Elektroda má tvar jehly, nebo skalpelu.
2. *Elektrokoagulace* – elektroda se přiloží na místo, kde má dojít ke koagulaci tkáně a zapne se vysokofrekvenční proud. Tkáň koaguluje na přesně vymezeném místě. Elektroda má tvar malé destičky, nebo kuličky.
3. *Elektrokarbonizace* – delším působením jiskry na jednom místě, dojde k zuhelnatění povrchových tkání.

Výhody elektrochirurgie:

- jednoduchá technika
- metoda sama částečně znecitlivuje,
- krvácení z malých cév se samo zuhelnatěním zastaví,
- ránu není třeba příliš dezinfikovat,
- jizvy jsou nenápadné,
- protože tkáň nádorů je citlivější na teplotu, než tkáň zdravá (zdravá snáší teplotu i nad 50°C , zasažená zhoubným bujením asi o 5°C nižší), je možné usmrcení i těch nádorových buněk, které se nacházejí poblíž řezu.

Poznámka: v posledních letech jsou elektrochirurgické metody nahrazovány operacemi pomocí laseru.

Elektrokardiografie. Impulzem pro stah jakékoliv buňky je změna elektrického napětí mezi vnějškem a vnitřkem buňky. Srdeční sval a buňky v něm musejí pracovat velmi koordinovaně, aby mohl vypudit krev do celého těla. Přístrojem, který je schopen zaznamenat změny elektrického napětí v srdci na povrchu těla, se nazývá elektrokardiograf (EKG). EKG pracuje na principu srovnání záznamů časového průběhu napětí u srdce zdravého a nemocného. Můžeme jím diagnostikovat takové nemoci a poruchy srdce, jako je infarkt myokardu, různé druhy arytmií, plicní embolie a jiné změny na srdci. Princip přístroje není příliš složitý, pomocí vodivého gelu se připevní na pacientovo tělo 10 elektrod a výsledkem

měření je elektrokardiogram – časový záznam napětových pulzů z jednotlivých elektrod. Zkušený lékař je pak schopen poznat, zda je srdce zdravé, nebo zda je nemocné (a o jakou nemoc se pravděpodobně jedná).

Elektroencefalografie. V případě elektroencefalografie (EEG) se jedná o diagnostickou metodu, vhodnou pro vyšetřování takových poruch a nemocí mozku, jako je epilepsie, mozková příhoda, meningitida, otřes mozku, poruchy spánku, atd. Způsob vyšetřování pacienta je podobný, jako u EKG, ale poněvadž je mozek nepoměrně složitější než srdce, je i encefalograf patřičně složitější a závěry i zkušeného lékaře jsou kvalitativní (nelze přesně rozhodnout, ve které části mozku došlo k poruše, ani o jaké porušení či nemoc se přesně jedná). Navíc, elektrické signály mozku jsou slabší, než tomu bylo u EKG, činí řádově desítky μV a musí být značně zesíleny.

Kirlianova fotografie. V roce 1930 objevili manželé Semjon a Valentina Kirlianovi efektní a velmi zajímavý fotografický proces, jehož podstatu publikovali v roce 1961 v časopise „Russian Journal of Scientific and Applied Photography“. Jejich původní experimentální uspořádání spočívalo v tom, že fotografovaný objekt (nebo dokonce část lidského těla) byl umístěn na fotografickou desku a bylo na něj přivedeno vysoké napětí vysoké frekvence. Výsledkem byla tzv. „aura“, obklopující objekt. Ta se samozřejmě stala objektem vhodným pro rádoby objevitelská vysvětlení různých psychotroniků a šarlatánů.

Současná experimentální zařízení pro výzkum Kirlianovy fotografie zaznamenala od dob manželů Kirlianových značný pokrok. Původní černobílá fotografie byla nahrazena mnohem efektnější fotografií barevnou, přinášející řádově vyšší množství informací. Celé současné experimentální zařízení připomíná poněkud větší fotoaparát a klasický vyvolávací proces je zautomatizován. V poslední době dokonce vznikla ještě dokonalejší zařízení, umožňující celou fotografii digitalizovat a zobrazovat či dokonce zpracovávat pomocí PC.

Je jisté, že Kirlianova fotografie není podvod. Z fyzikálního hlediska se jedná o vysokofrekvenční korónu, známou již N. Teslovi. Skupina vědců z Drexelovy University zaujímá však k tomuto jevu mnohem skeptičtější stanovisko: aura, vznikající kolem objektu (zejména živého), umístěného do vysokofrekvenčního pole je elektrickým jevem a proto bude silně záviset na vlhkosti objektu a na složení potu. Ten zase může záviset na tom, zda je člověk nemocný apod. Je tedy potom přirozené řadit Kirlianovu fotografii mezi takové experimentální metody, jako je např. detektor lži, EKG a EEG. To ale neznamená, že bychom se neměli tímto problémem nadále zabývat. Jenom musí být náš přístup exaktní a racionální



Obr. Kirlianova fotografie a) lidské ruky b) listu c) ucha [4]

Ochrana před úrazem elektrickým proudem. Mimo příznivé účinky elektrického proudu na živou tkáň, může být úraz elektrickým proudem nebezpečný pro člověka, nejsou – li dodrženy zásady bezpečného zacházení s elektrickými zařízeními. Z praktického života jsou známy případy, kdy při dobrém kontaktu (např. ve vaně s vodou) došlo k úmrtí při úrazech stejnosměrným proudem při napětí 250 V a u střídavých proudů dokonce při 100 V. Je jisté, že účinky elektrického proudu jsou individuální, důležitou roli hraje zdravotní stav jedince, zejména stav srdce a ústřední nervové soustavy. Již dříve jsme se zmínili o tom, že při vysokých frekvencích člověk může snést zasažení proudem o napětí až 10^5 V. Většina v praxi používaných frekvencí střídavých proudů je bohužel nižší a pro člověka nebezpečná. Účinek elektrického proudu na člověka nezávisí ani tak na napětí, jako na intenzitě proudu, který tělem protéká. Z tohoto hlediska lze působení elektrického proudu na člověka rozdělit do 4 skupin:

1. Proud do 25 mA – zastavuje dýchání,
2. Proud od 25 mA do 80 mA – dochází k zastavení činnosti srdce. Stav je ireversibilní, úraz je výjimečně smrtelný.
3. Proud od 80 mA do 4 A – smrt je poměrně častá.
4. Proud nad 4 A – V tomto případě je škodlivé Jouleovo teplo a i když člověk přežije, může zemřít po několika dnech na selhání ledvin, zahlcených zplodinami z teplem poškozených svalů (myoglobin)

Smrt nastává okamžitě, jestliže i proud nižší intenzity teče přes srdce. Tehdy dojde k tzv. fibrilaci (tj. nekoordinovaným stahům) srdečního svalu . Najdeme – li postiženého elektrickým proudem, musíme nejdříve přerušit elektrický okruh a poté nasadit umělé dýchání. Máme – li možnost, použijeme defibrilačního přístroje (kondenzátor, nabitý na vysoké napětí se vybije přes srdeční krajinu).

Literatura.

- [1] Opava, Z.: *Elektrina kolem nás*. Albatros Praha 1985.
- [2] Halliday, D., Resnick, R., Walker, J.: *Fyzika*. VUTIUM Brno, PROMETHEUS Praha, 2000
- [3] Putilov, K.A.: *Kurs fyziki II*, Fizmatgiz 1959.
- [4] Encyklopedie Wikipedia
- [5] Serway, R.A.: *Physics*. Sanders College Publ. 1996.