svět:energie

ENCYKLOPEDIE ENERGETIKY

# ELEKTŘINA

ENCYKLOPEDIE ENERGETIKY

# ELEKTŘINA

# OBSAH

Ebonitová tyč a liščí ohon • Ivan Laube 7

Žabí stehýnka • Pavel Augusta 17

Začalo to v... • Milan Polák 27

Elektrické zdroje • Jan Dáňa 37

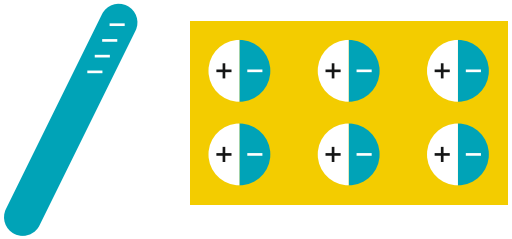
Drátěné cesty • Milan Polák 47

# ÚVOD

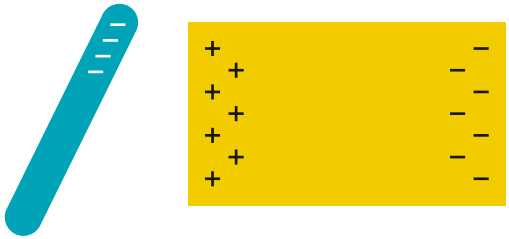
Všechny látky v sobě obsahují elementární kladné a záporné elektrické náboje. Pokud jsou tyto náboje v rovnováze, neprojevují se navenek. Dojde-li k porušení této rovnováhy, vzniká energetické pole, které se projevuje silovými účinky. Při pohybech elektrických nábojů dochází k energetickým projevům, které jsou využívány všude kolem nás. Téměř všechna technická zařízení pracují na základě působení elektrického proudu.

Příroda překypuje různými druhy energií, ale elektrickou energii zde v prakticky využitelné formě přímo nenalezneme. Člověk ji proto musí získávat přeměnou jiných druhů energie – mechanické, tepelné, světelné – nebo také využitím chemických procesů. K výrobě elektrické energie z energie mechanické slouží generátory. K získávání elektrické energie jinými způsoby se využívají různé mokré a suché články, akumulátory, termočlánky, fotočlánky ap.

Elektřinu znají lidé už více než dva tisíce let. Poznávat a využívat ji dokážeme teprve mnohem kratší dobu. Od zprvu jen zábavných hříček se stala motorem pohánějícím technickou civilizaci dnešních dnů. Mnoho slavných mužů věnovalo své úsilí, aby přineslo lidem nové poznání v oboru elektřiny a magnetismu. S těmi nejznámějšími se seznámíme. Zároveň bychom si však měli uvědomit, že zatím nejsme na konci cesty a mnoho tajemství ještě čeká na rozluštění.



Polarizovaný nevodič



Elektrická indukce – vodivé těleso

# EBONITOVÁ TYČ A LIŠČÍ OHON

**Člověk se od pradávna setkával s různými projevy živé i neživé přírody, které si neuměl uspokojivě vysvětlit. Jeho snahy o pochopení některých jevů se někdy ubíraly správným směrem a poznatky pak byly v průběhu času vylepšovány, někdy však byly již první úvahy zcela mylné a bylo třeba je změnit od základů. To se týká i poznávání elektrických vlastností a projevů hmoty.**

## ELEKTRICKÝ NÁBOJ

Dnes víme, že elektrické náboje jsou obsaženy v částicích, z kterých se skládají atomy, stavební kameny všech látek. Každý atom má jádro a obal. Jádro je složeno z protonů a neutronů, obal z elektronů. **Nositeli elektrických nábojů jsou protony a elektrony, neutrony jsou elektricky neutrální** (odtud i jejich název). Vědci se dohodli, že elektrický náboj obsažený v protonu budeme označovat jako **kladný** a náboj obsažený v elektronu jako **záporný**. K tomu je třeba dodat, že velikost elektrického náboje protonu a elektronu je shodná a liší se pouze polarita, která se označuje znaménkem + nebo –. **Hodnota elektrického náboje atomu** představuje vždy součet těchto základních nábojů.

Z hlediska elektrického náboje nás zajímá množství protonů a elektronů ve zkoumané látce. Jestliže je v jednotlivých atomech stejný počet elektronů a protonů, jsou tyto atomy elektricky neutrální, elektrický náboj se v okolním prostředí nijak neprojevuje. Totéž pak platí i pro zkoumanou látku. Jestliže je v atomech menší počet elektronů než protonů, je atom, a tedy i zkoumaná látka, nabit elektricky kladně. Může také nastat situace, kdy součet protonů a elektronů v atomech je shodný, ale ve zkoumané látce jsou navíc volné elektrony. Potom je látka nabita záporně. Látky, jejichž atomy se snadno zbavují elektronů, se nazývají elektricky vodivé, **vodiče**. To jsou například kovy. Látky, které jsou z tohoto pohledu stabilní, jsou elektricky nevodivé, jsou to tzv. **nevodiče**. Příkladem je sklo, síra, ebonit, jantar.

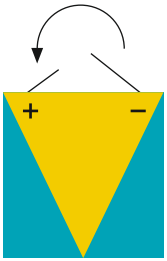
## PRVNÍ POZOROVÁNÍ PROJEVŮ ELEKTŘINY

V 6. století př. Kr. popsal řecký filosof **Thales Milétský** podivuhodný jev týkající se jantaru, který byl tehdy používán při předení lnu. Jantar byl náhle schopen přitahovat k sobě drobná tělíska. A naopak vlákna lnu se začala vzájemně odpuzovat. K tomuto jevu se v 2. polovině 16. století vrátil lékař anglické královny, fyzik **William Gilbert**. Prováděl pokusy při kterých zjistil, že i jiné látky získávají třením schopnost přitahovat drobná tělíska a lehké předměty. Protože se jantar řecky nazývá elektron, nazval látky, které mají uvedenou schopnost, látkami **elektrickými**. Tím je odlišil od látek **magnetických**, které jsou také schopny přitahovat některé předměty.

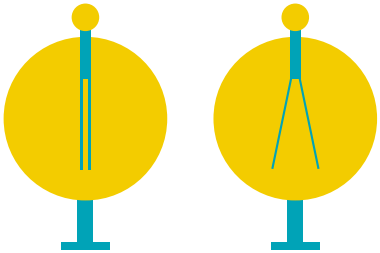
## VYSVĚTLENÍ POZOROVANÉHO JEVU

Nyní se dostáváme k otázce, co se vlastně z fyzikálního hlediska při předení lnu dělo.

Jestliže o sebe třeme předměty, z nichž jeden je z elektricky vodivé látky a druhý z nevodivé, pak třením dochází k uvolňování elektronů z atomů elektricky vodivé látky. Tyto elektrony přecházejí do meziatomového prostoru látky elektricky nevodivé. Při oddálení obou předmětů je pak v nevodiči

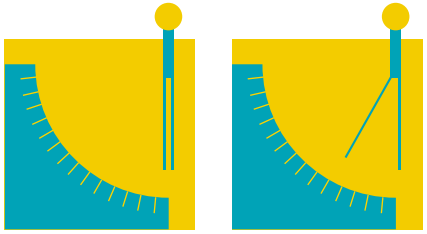



Pohyb elektronů ve vodiči



**A** v klidu **B** po dotyku nabitým předmětem

Elektroskopy



**A** **B**

Okalibrováním elektroskopu můžeme velikost náboje měřit

více elektronů, nosičů záporného náboje, než protonů a látka je nabita záporně.

Vodivá látka část svých elektronů předala nevodiči, a proto je v ní v tomto okamžiku více kladně nabitých částic, protonů. Látka je nabita kladně.

Charakteristickou vlastností elektricky nabitých látek je skutečnost, že látky nabité stejným nábojem se **odpuzují** a látky nabité opačnými náboji se **přitahují**. Při dotyku (kontaktu) těchto látek se náboje vyrovnají, což ve skutečnosti znamená, že část elektronů se přemístí ze záporně nabitého tělesa do tělesa nabitého kladně. Potom se začnou obě tělesa odpuzovat.

Uvedený příklad ze starověkého Řecka lze tedy vysvětlit tak, že se při předení třela vlákna lnu o jantarový nástroj. Ze lnu se přemístilo určité množství elektronů do jantaru a jantar se tak stal elektricky nabitým. Protože v něm bylo více elektronů než protonů, byl nabit záporně. Ve lnu naopak bylo více protonů než elektronů, a tak byl nabit kladně.

Nahromadění elektrického náboje na povrchu objektů nazýváme statická elektřina.

Ještě je třeba vysvětlit, proč může elektricky nabitá látka přitahovat elektricky nenabité a nevodivé předměty, v nichž nedochází k přemisťování elektronů z atomů do meziatomového prostoru nebo do okolí. Je to proto, že k přemisťování elektricky nabitých částic zde dochází v molekulách. Tomuto jevu se říká **polarizace**.

## NÁBOJ V TĚLESE

Elektrony se mohou přemisťovat nejen mezi různými látkami, ale mohou se pohybovat i uvnitř jednoho předmětu. Jestliže je v tělese například více elektronů než protonů, dojde k následujícímu jevu: tyto volné elektrony (volné zde znamená, že nejsou součástí atomů zkoumané látky) se vzájemně odpuzují, až se vytlačí na okraj předmětu, kde se rozmístí stejnoměrně po jeho povrchu.

K přemístění elektrických nábojů ve vodivém tělese dojde také tehdy, jestliže do jeho blízkosti umístíme jiné elektricky nabité těleso. Na povrchu, který je přivrácen k elektricky nabitému tělesu, se soustředí opačný náboj a na povrchu odvráceném od nabitého tělesa náboj s ním shodný. Obě tělesa se pak přitahují (tzv. elektrická indukce).

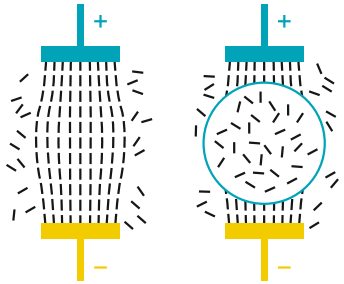
Pohyb elektrických nábojů můžeme také vyvolat napojením vodiče na zdroj elektrického proudu. Spojíme-li například železný drát na jednom konci s kladným pólem a na druhém konci se záporným pólem baterie, dojde k pohybu elektronů v drátu ve směru od záporného ke kladnému pólu. **Elektrony jsou tedy nosiči elektrického proudu**.

## ELEKTRICKÉ POLE

Již jsme se zmínili o mechanickém působení elektrických nábojů, tedy o přitahování a odpuzování předmětů. Tyto jevy má na svědomí **elektrické silové pole**. Jestliže budeme mít například kladně nabité těleso (nebo kladný pól zdroje stejnosměrného proudu) a budeme se k němu přibližovat s malým kladně nabitým předmětem, budou se obě tělesa odpuzovat a my budeme muset vykonat práci, abychom překonali odpor. Jestliže přestaneme na menší předmět působit a neupevníme ho, bude vytlačen elektrickým silovým polem většího tělesa. Elektrické pole tak vykoná stejně velkou práci, jakou jsme předtím dodali menšímu předmětu my. Z toho je vidět, že **elektrické pole má energii**.

Silové pole je jedním z projevů hmoty. Protože vše, co je hmotné, lze nějakým způsobem měřit, lze měřit i intenzitu pole vytvořeného statickou elektřinou. Při tomto měření se používá **elektroskop**.

Elektroskop je jednoduché zařízení, které využívá vzájemného odpuzování stejně nabitých předmětů. Jestliže se dotkneme elektroskopu elektricky nabitým předmětem, vyrovná se mezi nimi elektrický náboj, elektroskop se elektricky nabije. Volně zavěšené lístky z vodivého materiálu se od sebe rozestoupí tím více, čím větší elektrický náboj jsme do elektroskopu dodali. Takový elektroskop se nazývá lístkový. Stejný jev




Siločáry v rovině a efekt stínění elektrického pole

nastane také v případě, kdy elektricky nabité těleso umístíme v blízkosti elektroskopu.

## VZNIK STATICKÉ ELEKTŘINY

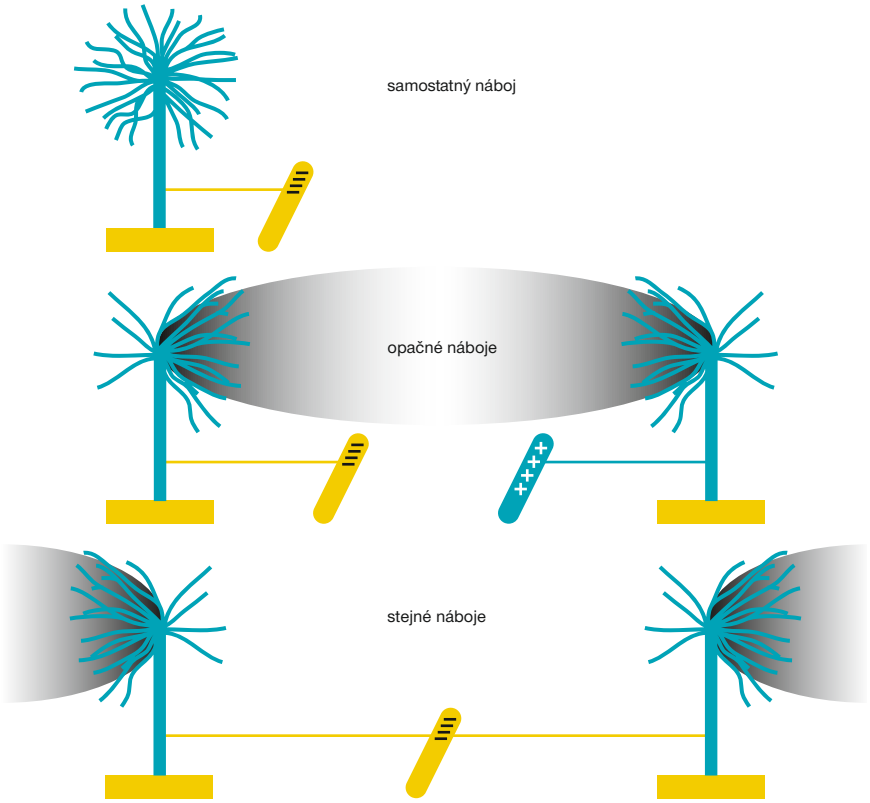
Jestliže se o sebe třou různě vodivé látky, může vznikat elektrostatický náboj. To si můžeme dokázat přímo klasickým školním pokusem, při kterém se tře ebonitová tyč (ebonit je tvrzená pryž) s liščím ohonem. Jestliže se pak ebonitovou tyčí dotkneme elektroskopu, lístky se rozestoupí. Tím se nám podařilo dokázat, že jsme ebonitovou tyč elektricky nabili.

Projevy statické elektřiny můžeme často pozorovat například při pročesávání vlasů hřebenem z vhodné látky. Pokud slyšíme slabé praskání, pak to jsou zvukové projevy malých elektrických výbojů. Běžně se s projevy statické elektřiny setkáváme i při oblékání moderních svetrů vyrobených z umělých vláken.

Statická elektřina vzniká také při některých průmyslových činnostech, například při výrobě textilu nebo papíru. Proto jsou v papírnách uzemněné železné hřebeny, které svádějí takto vznikající statickou elektřinu do země. Jinak by mohlo dojít k elektrickému výboji a tím i k požáru.

## SILOČÁRY

Elektrické pole se pro názornost zobrazuje siločarami. To jsou linie, po kterých by se pohybovala tělesa uvedená do pohybu elektrickým silovým polem. Tvar siločar v prostoru můžeme zjistit pomocí papírových chocholů. Je to velmi jednoduchý pokus, který si nyní popíšeme.

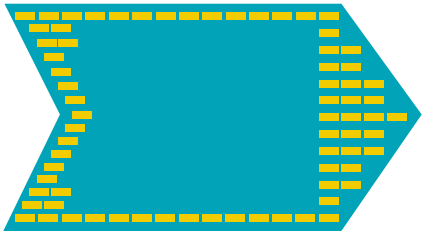



Chocholy znázorňují silokřivky

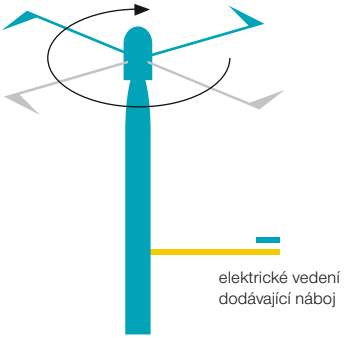
Pro pokus potřebujeme mít dva stojánky, které jsou elektricky vodivé a spočívají na elektricky nevodivém podstavci. Jestliže na jeden stojánek přivedeme dotykem nabitého předmětu elektrický náboj, papírové proužky chocholu se od sebe rozestoupí a směřují rovnoměrně na všechny strany.

Jestliže však umístíme oba stojánky blízko sebe a přivedeme na ně opačné náboje, uvidíme, že většina siločar (proužků) z každého stojánku je zakřivena ve směru ke stojánku druhému. Když však na ně přivedeme shodný náboj, jsou všechny siločáry zakřiveny na opačnou stranu, než je druhý stojánek. Siločáry si můžeme zobrazit také v rovině. K tomu potřebujeme elektricky nevodivou misku s tenkou vrstvou oleje. Do misky stejnoměrně rozsypeme jemné elektricky nevodivé částice.

Pro náš pokus můžeme použít třeba krupici. Když připojíme póly elektrické baterie, uspořádají se zrníčka krupice ve tvaru siločar.



Rozmístění nábojů v hranatém tělese



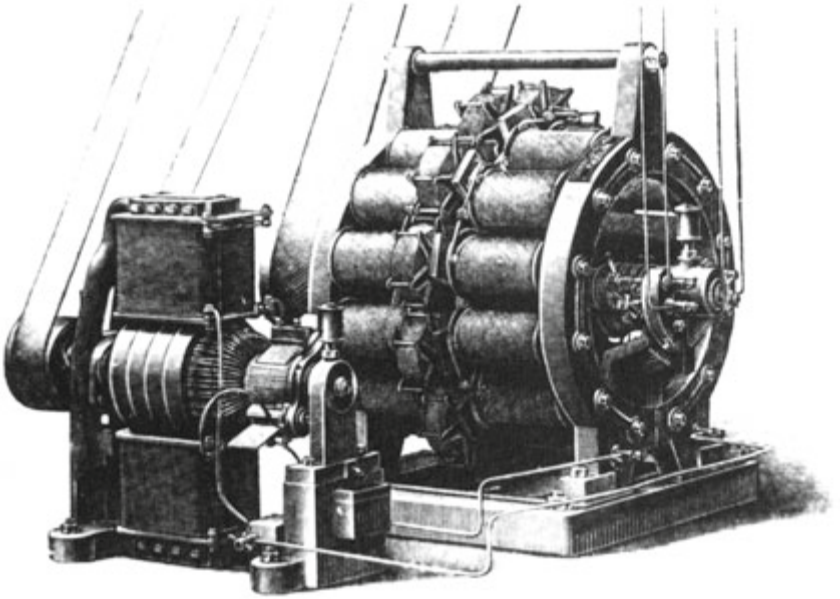

Elektrický vítr roztáčí soustavu hrotů

Dalším pokusem si můžeme předvést, jak lze odstínit elektrické pole. K tomu použijeme opět misku s olejem a krupicí. Do misky vložíme kovový kruh a opět připojíme elektrickou baterii. V prostoru uvnitř kruhu zůstanou zrníčka krupice ležet tak, jak jsme je tam nasypali. Znamená to, že elektrické pole je uvnitř kovového kruhu, který je elektricky vodivý, odstíněno.

## ELEKTRICKÝ NÁBOJ A POVRCH VODIČE

Jestliže máme elektricky nabité těleso ve tvaru koule nebo desky, je elektrický náboj na jeho povrchu rozmístěn stejnoměrně. Jestliže je však tvar tohoto tělesa nepravidelný, má různou křivost, je hustota náboje na plochách, které jsou zakřiveny dovnitř tělesa, menší než na plochách zakřivených z tělesa ven. Největší hustota náboje je na hrotech. Při dostatečně vysoké hustotě záporného náboje může dojít k unikání elektronů do vzduchu. To se stává například v případě „Eliášova ohně“.

Jestliže takovému tělesu dodáváme elektrický náboj, nabíjí se molekuly ve vzduchu v okolí hrotu, jsou od hrotu odpuzovány, a tak vzniká **elektrický vítr**. O jeho existenci se můžeme přesvědčit ohnutím plamene svíčky, která je umístěna blízko hrotu. K náročnějšímu pokusu potřebujeme soustavu hrotů nasazenou na špičatý podstavec tak, aby se mohla otáčet. Celé toto zařízení je elektricky vodivé a jeho podstavec je nevodivý. Jestliže tomuto zařízení dodáváme elektrický náboj, uvedená soustava se roztočí, což je další důkaz elektrického větru proudícího z hrotů.



Střídavé dynamo s budicím generátorem z konce 19. století

Při vysoké hustotě náboje může dojít k **jiskrovému výboji**. Toho se využívá u bleskosvodů, protože blesk je vlastně jiskrový výboj a hrot bleskosvodu jej odsaje do země.

Princip jiskrového výboje je také využíván k odpalování náloží třaskavin, k zapalování

| Značení | Jednotka | Veličina |
|---|---|---|
| **A** | ampér | elektrický proud |
| **C** | coulomb | náboj |
| **V** | volt | napětí |
| **F** | farad | kapacita |
| **Ω** | ohm | odpor |
| **W** | watt | příkon, výkon |
| **J** | joule | energie |

**Fyzikální jednotky**

zážehových motorů a k mnoha dalším činnostem.

## ELEKTRICKÝ PROUD A FYZIKÁLNÍ JEDNOTKY

Pro další výklad je důležité vědět, že prochází-li elektrický proud vodivým prostředím, například vodivým kovovým drátem, vyvolává různé fyzikální účinky.

**Velikost elektrického proudu** se vyjadřuje v ampérech.

Definice praví, že **elektrický proud má hodnotu jednoho ampéru, jestliže při stálém průtoku tohoto proudu dvěma rovnoběžnými přímými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného průměru, umístěnými ve vakuu ve vzdálenosti jednoho metru, vyvolá mezi vodiči sílu $2 \times 10^{-7}$ (2/10 000 000) newtonu na jeden metr délky.**

Ampér je jedna ze základních fyzikálních jednotek pro popisování fyzikálních dějů. Tato jednotka byla nazvána po slavném francouzském matematikovi a fyzikovi, který se jmenoval **André Maria Ampère**.

Když teď víme, jaká je jednotka proudu, můžeme si odvodit další jednotky, které popisují vlastnosti elektřiny. V předchozím textu se hovořilo o elektrickém náboji. **Velikost náboje** je součin proudu a času: ***Q*** (náboj) = ***I*** (proud) × ***t*** (čas).

Jednotkou náboje je jeden coulomb. Je to **elektrický náboj, který proteče vodičem při stálém proudu jednoho ampéru za jednu sekundu**. **Charles August de Coulomb** byl francouzský fyzik, který se ve svém bádání věnoval i magnetismu.

Víme-li, co je proud a náboj, můžeme vyjádřit i **napětí** v elektrickém silovém poli. Toto napětí mezi dvěma místy elektrického pole je určeno prací, kterou je nutno vykonat pro přemístění kladného elektrického náboje o velikosti jednoho coulombu z jednoho místa na druhé. Jestliže se zde vykonaná práce rovná hodnotě jednoho joulu, je toto napětí rovno jednomu **voltu**. V případě vodiče lze napětí jednoho voltu definovat tak, že jeden volt je **elektrické napětí mezi konci tohoto vodiče, do něhož stálý proud jednoho ampéru dodává výkon jednoho wattu**. Jednotka napětí je nazvána po italském fyzikovi Alessandro Giuseppe Voltovi.

Další důležitý pojem při popisování elektřiny je **kapacita**. Máme-li dvě desky z vodivého materiálu, z nichž jedna je uzemněná a na druhou dopravíme elektrický náboj, indukuje se (vznikne, je vyvolán) na uzemněné desce stejně veliký náboj s opačným znaménkem. Toto zařízení se nazývá **kondenzátor**. Název je odvozen od slova **kondenzace** (zhušťování, v tomto případě zhušťování elektrického náboje). Měřením bylo zjištěno, že při zvyšování náboje roste i elektrické napětí mezi deskami tak, že **poměr nábojů k napětí zůstává stále stejný**. Tento poměr se nazývá **kapacita** a jeho jednotkou je jeden **farad**. Kapacitu jednoho faradu má kondenzátor tehdy, jestliže se **nábojem jednoho coulombu nabije na napětí jednoho voltu**. V technické praxi se však používají pouhé zlomky faradu:

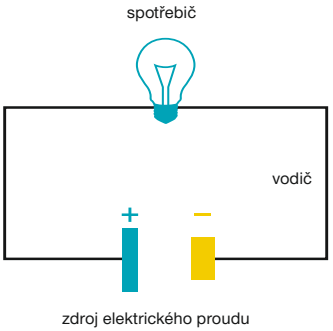
- mikrofarad = 1/1 000 000 F,
- nanofarad =1/1000 000 000 F,
- a pikofarad =1/1000 000 000 000 F.

Název této jednotky byl zvolen podle objevitele elektromagnetické indukce, anglického fyzika **Michaela Faradaye**.

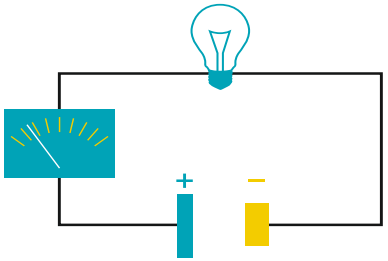
Každá látka klade procházejícímu elektrickému proudu určitý **odpor**. Definice říká, že vodič má odpor jednoho ohmu (D), jestliže je připojen na **napětí jednoho voltu a prochází jím přitom proud jednoho ampéru**, tedy 1 Ω = 1 V/1 A.

Rovnice ***R*** (odpor) = ***U*** (napětí) / ***I*** (proud) vyplývá z fyzikálního zákona, který objevil německý fyzik Georg Simon Ohm. Stojí za zmínku, že se nezabýval jen elektřinou, ale také akustikou a optikou.

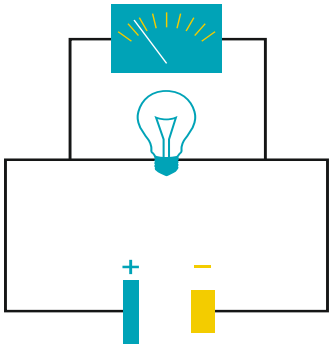
Toto tedy jsou nejdůležitější fyzikální jednotky, které charakterizují elektrické jevy a bez nichž bychom neuměli popsat elektrické pole, elektrický proud a jejich projevy.




Elektrický obvod




Ampérmetr




Voltmetr

## FYZIKÁLNÍ ZÁKONY

Rovnice, která je uvedena na konci předchozí kapitoly, je matematickým vyjádřením Ohmova zákona. Tato rovnice platí vždy pro určitou látku při stálé teplotě. Tato poznámka je důležitá, protože zatímco u některých slitin se hodnota odporu při změně teploty mění jen nepatrně, u kovů elektrický odpor s teplotou roste a u jiných vodičů, například u uhlíkového vlákna, naopak s rostoucí teplotou klesá.

### ELEKTRICKÝ OBVOD

Předpokladem pro vznik elektrického proudu je existence uzavřeného elektrického obvodu, jehož základními prvky jsou zdroj elektrického napětí, spotřebič a vodič. Měření proudu se provádí **ampérmetrem**, který se může zapojit kdekoli v sérii (za sebou) s těmito základními prvky. Napětí se měří **voltmetrem**, který se zapojuje paralelně (vedle sebe) se spotřebičem či zdrojem elektrického proudu.

Elektřina nás zajímá nejen z hlediska poznávání vlastností hmoty, ale také jako druh energie, který po přeměně v jinou energii můžeme různým způsobem využít. K tomu je třeba umět kvantitativně, to jest číselně, elektrické projevy vyjádřit.

Tak je možné vyjádřit **elektrický příkon** spotřebiče, což je **součin proudu procházejícího spotřebičem a napětí na spotřebiči**. Používanou jednotkou je jeden **watt**.

***P*** (příkon) = ***U*** (napětí) × ***I*** (proud)

Všimněte si, že na každém elektrickém spotřebiči (dokonce i na žárovkách) je příkon ve wattech uveden.

**Elektrickou energii**, tedy fyzikálně práci, lze vypočítat jako **součin příkonu a času**, jednotkou je jeden **joule**.

***E*** (energie) = ***P*** (příkon) × ***t*** (čas)

### PŘEMĚNA ELEKTRICKÉ ENERGIE

Víme, že v uzavřeném elektrickém obvodu dochází k pohybům volných elektronů. Ty při srážkách s atomy či molekulami ve vodiči ztrácejí část své pohybové energie v jejich prospěch, a tak zvyšují kmitavý pohyb těchto částic.

Protože teplota tělesa je dána právě pohyby atomů či molekul, vodič, kterým prochází proud, se zahřívá. Celkové teplo, které takto vznikne, vyjadřuje zákon Jouleův-Lenzův:

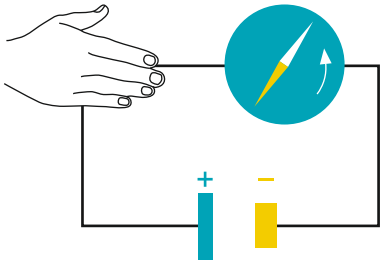
***Q*** (teplo) = ***R*** (odpor) × ***I*** (proud) × ***t*** (čas)

Zahřívání vodiče průchodem elektrického proudu se využívá v mnoha oblastech. Na tomto principu fungují spirálové vařiče, žehličky, bojlery, páječky, elektrické odporové pece, ohřívače pro akvária, pojistky atd. Ohřívání vodiče průchodem elektrického proudu je typickým příkladem přeměny jednoho druhu energie (elektrické) v jiný (energii tepelnou). Přitom si ovšem musíme uvědomit, že stále platí **zákon o zachování energie**. Ten říká, že energie se může přeměňovat z jednoho druhu do jiného, ale její množství při těchto přeměnách zůstává stejné, energie nevzniká ani nezaniká. Nás zajímá, co se stane s vodičem, který se zahřál podle Jouleova-Lenzova zákona. Část tepelné energie se z vodiče odvádí do okolního prostředí, třeba do vzduchu, část energie se ale může přeměnit v energii světelnou. To je příklad žárovky, kde dokonce ta část energie, která se ve světelnou nepřemění, je pro nás vlastně ztrátová. Tepelná energie vlákna žárovky je z hlediska naší potřeby pouze vedlejší produkt. Opačný případ je u spirálových topných těles. Tam je pro nás ztrátová naopak ta část energie, která se přemění v energii světelnou v červeně rozpálené topné spirále.

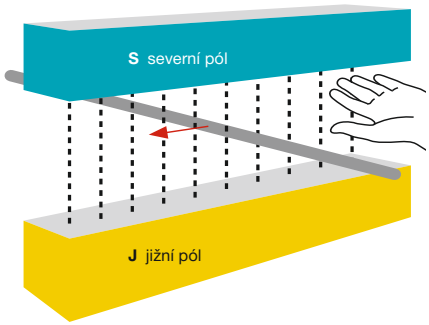
Zatím jsme uváděli pouze příklad jednoduchého elektrického obvodu. V praxi se však většinou vyskytují složitější rozvětvené obvody, jinými slovy **elektrické sítě**.

## ELEKTŘINA A MAGNETISMUS

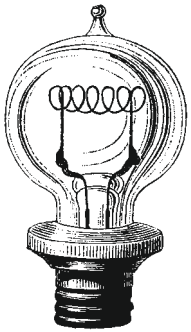
**Magnetické pole** je podobně jako pole elektrické jednou z forem projevů hmoty. Magnetické pole se vytváří **okolo vodiče, kterým protéká elektrický proud**.




Ampèrovo pravidlo pravé ruky




Flemingovo pravidlo levé ruky



Žárovka

Můžeme si to znázornit pomocí magnetky, kterou umístíme v blízkosti elektrického vodiče zapojeného na zdroj proudu. Severní pól magnetky se otočí na tu stranu, kam by ukazoval náš palec, kdybychom položili pravou ruku nad vodič tak, aby dlaň byla otočená k magnetce a prsty byly orientované ve směru proudu. Toto pravidlo objevil již zmíněný fyzik Ampère, proto se mu říká Ampèrovo pravidlo pravé ruky.

Magnetické pole, které existuje **nezávisle na vodiči**, působí silou na tento vodič, pokud jím protéká elektrický proud.

Jeho působení nám popisuje **Flemingovo pravidlo levé ruky**. To říká, že položíme-li otevřenou levou ruku na vodič tak, aby magnetické indukční čáry vstupovaly do dlaně a prsty ukazovaly směr proudu, vychýlí se vodič na stranu palce. Magnetické indukční siločáry jsou vlastně obdobou elektrických siločar a směřují od severního pólu k pólu jižnímu.

## ELEKTROMAGNETICKÁ INDUKCE

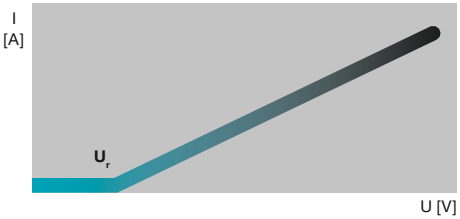
Jestliže pohybujeme elektrickým vodičem v magnetickém poli tak, že protínáme magnetické indukční čáry, vzniká na koncích vodiče **indukované elektrické napětí**. Je-li vodič zapojen do uzavřeného obvodu, protéká jím elektrický proud. To je důsledek vzájemného silového působení elektrického a magnetického pole. Podle Faradayova **zákona elektromagnetické indukce** platí, že čím rychleji vodičem v magnetickém poli pohybujeme, tím je indukované napětí větší.

S využitím elektromagnetické indukce se setkáváme každodenně. Jako příklad je možné uvést střídavý elektrický proud, který osvětluje naše domácnosti a poskytuje energii veškerému průmyslu. Tento proud byl vyroben v elektrárnách za pomoci využití elektromagnetické indukce.

## ELEKTŘINA A KAPALINY

Elektrický proud v kapalinách je tvořen pohybem kladných iontů k záporné elektrodě a záporných iontů k elektrodě kladné. Jestliže přivádíme napětí na elektrody ponořené do kapaliny a toto napětí postupně zvyšujeme od hodnoty nula voltů, zjistíme, že nejprve proud neprochází. Teprve od určité hodnoty napětí, které závisí na druhu a stavu kapaliny, začíná proud kapalinou procházet, ionty se přemisťují k elektrodám, kde se začínají vylučovat. Hmotnost takto vyloučené látky nám udávají tyto rovnice:

***m*** (hmotnost) = ***E*** (elektrochemický ekvivalent) × ***I*** (proud) × ***t*** (čas), nebo ***m*** (hmotnost) = ***E*** (elektrochemický ekvivalent) × ***Q*** (náboj).




Šíření elektrického proudu v kapalinách

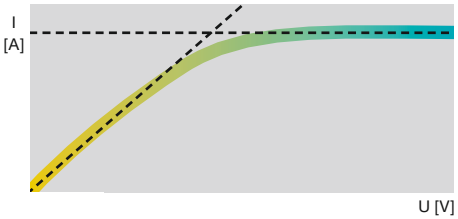
Elektrochemický ekvivalent je konstanta, která je pro různé roztoky rozdílná.

Z poslední chemické rovnice plyne Faradayův **zákon elektrolýzy**, který praví, že množství vyloučené látky je přímo úměrné prošlému náboji. Myslí se tím pochopitelně látka a roztok.

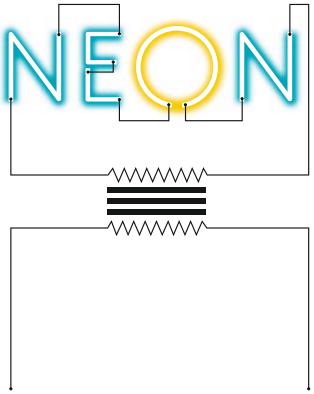
Elektrolýzy se využívá např. při galvanickém pokovování, při získávání kovů z roztavených sloučenin, při galvanickém leptání, kdy nevodivá vrstva zakrývá ta místa na kovové desce, která nemají být leptána, a při různých výzkumech.

## ELEKTŘINA A PLYNY

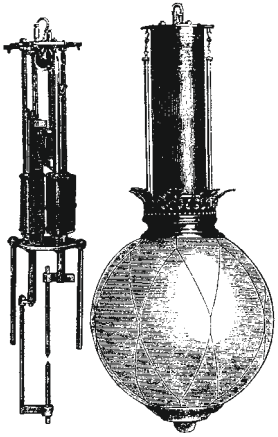
Plyn je za obyčejných podmínek nevodivý. Aby se stal vodivým, musíme docílit jeho ionizaci. To znamená, že v něm musí být elektricky vodivé částice. Toho dosáhneme




Nesamostatný výboj v plynech




Zapojení svíticích trubic na transformátor



Křížikova obloukovka

například plamenem nebo různými druhy záření. V závislosti na tlaku, chemickém složení plynu a na hodnotě napětí dochází k různým druhům elektrických výbojů.

## NESAMOSTATNÝ VÝBOJ

Nesamostatný výboj vzniká při nejnižších napětích. Zprvu proud stoupá s napětím, až dosáhne hodnoty nasyceného proudu. Z grafu je možné učinit důležitý závěr, že při výboji v plynech neplatí Ohmův zákon.

## SAMOSTATNÝ VÝBOJ

Když napětí roste dál, nastává samostatný výboj. Projevuje se opticky. Na hranách staveb, na vrcholcích keřů a stromů a také na hrotech stožárů se objevuje světélkování, tzv. **Eliášův oheň**. Vystrašil už mnoho pověrčivých námořníků. Byl pojmenován podle legendy o proroku Eliášovi, jedné z významných postav Starého zákona.

Jestliže elektrické napětí dále roste, nastává jiskrový výboj. V přírodě je tento jev zastoupen bleskem.

## OBLOUKOVÝ VÝBOJ

Další druh elektrického výboje je **obloukový výboj**. Vyvolá se tak, že spojíme dotykem hroty dvou uhlíkových elektrod, které jsou připojeny na zdroj proudu. V místě, kde se dotýkají, vzroste teplota a oba hroty se rozžhaví.

Elektrody od sebe mírně oddálíme a od tohoto okamžiku vyletují z katody na anodu záporně nabité částečky – vzniká **elektrický oblouk**. Vzdálenost uhlíků je třeba průběžně regulovat, přibližovat je, protože částečky, které vylétávají z katody, rozbíjejí anodu. Rozpálené uhlíky se stávají intenzivním zdrojem světla, jejich teplota dosahuje 4 000 až 5 000 °C. Oba uhlíky uhořívají, a proto je třeba jejich vzdálenost udržovat buď ručně, nebo automaticky. Důmyslný a automatický regulátor obloukové lampy zkonstruoval český vynálezce a elektrotechnik František Křižík.

## ELEKTŘINA A ZŘEDĚNÉ PLYNY

Ve zředěných plynech nastává elektrický výboj již při nižším napětí. Praktické využití výboje ve zředěném plynu je například v reklamě.

Používají se skleněné trubice naplněné různými plyny, které světélkují ve zvolených barvách. Říká se jim **neónové trubice**.

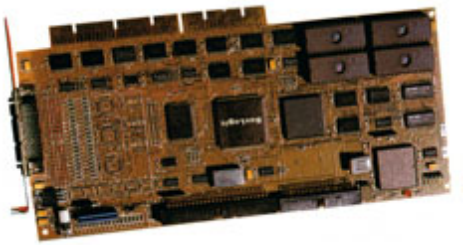
Podobně je využito výbojů ve zředěném plynu v **zářivkách**. Ty jsou plněny argonem a rtuťovými párami. Při výboji jsou zdrojem velkého množství ultrafialového světla, které je pouhým okem neviditelné. Proto je na stěnách zářivky vrstva fluorescenční látky. Dopadá-li na ni ultrafialové záření, svítí viditelným světlem. Ve prospěch zářivek svědčí skutečnost, že mají několikanásobně menší spotřebu elektrického proudu než klasické žárovky.

# ELEKTŘINA A VAKUUM

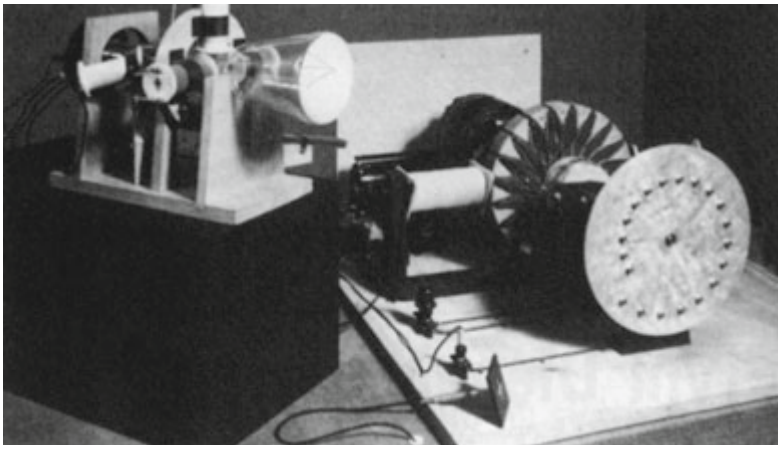
Elektrický proud se šíří i ve vzduchoprázdnu, vakuu. Elektricky nabité částice se pohybují nejkratším způsobem mezi elektrodami, pokud ovšem není přítomno magnetické pole.

Magnetické pole totiž elektricky nabité částice z jejich trasy vychyluje. Tento jev je využíván například v televizní obrazovce. Magnety zde fungují jako vychylovací destičky.

Intenzita magnetického pole se neustále mění, a tak se mění i ohýbání drah elektronů, které pak dopadají na fluorescenční látku, kterou je pokryt vnitřek obrazovky. My



Polovodičová destička



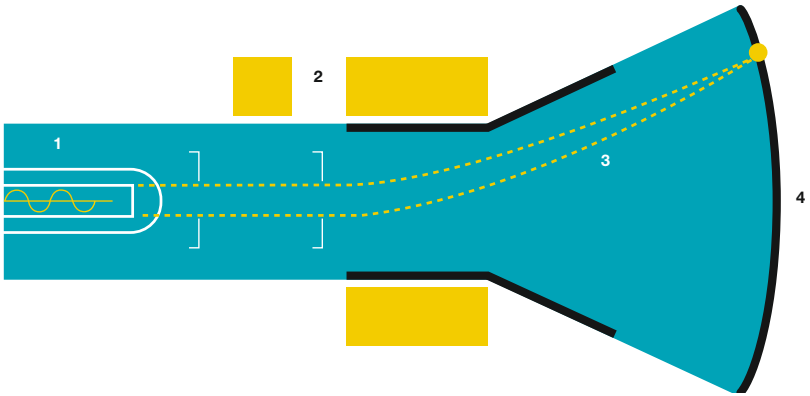
Model prvního televizního obrazového přijímače vyrobeného v Německu

se (z vnější strany) pak díváme na světélkování způsobené dopady vychylovaných elektronů. Tak je na televizní obrazovce na principu obrazové elektronky vytvářen obraz. Samozřejmě se v tomto případě nedá mluvit o stoprocentním vakuu, ale o velkém zředění, o velmi nízkém tlaku plynu, takže je to vlastně přiblížení se vzduchoprázdnu.

## POLOVODIČE

Zvláštním případem je šíření elektrického proudu v polovodičích. Na rozdíl od vodičů klesá s rostoucí teplotou jejich odpor. Při růstu teploty dochází k porušení pravidelnosti jejich krystalických mřížek a k uvolňování elektronů z jednotlivých atomů.

Polovodiči jsou například křemík, fosfor, germanium, tuha, bór a sloučeniny těžkých kovů. Využití polovodičů je v elektronice velmi rozsáhlé. Nahrazují mimo jiné klasické elektronky, jsou mnohem menší a hlavně mají mnohem menší energetickou náročnost.




**1** katoda
**2** magnetické urychlovací a vychylovací destičky
**3** elektronový paprsek
**4** fluorescenční látka

Schéma obrazové elektronky. Moderní obrazovky ji už nevyužívají, nahrazují ji tzv. LCD či plasmové monitory založené na jiném principu.

William Gilbert

# ŽABÍ STEHÝNKA

**Elektřina je symbolem i hybnou pákou moderní doby. Využíváme ji na každém kroku a ani si neuvědomujeme, co všechno bychom ztratili, kdyby jí nebylo. Někdy se dokonce snažíme bez ní obejít, abychom se, ve světle svíček či plamenů krbu, vrátili do romantiky starých časů. Neobejdeme se však bez ní natrvalo. Když kouzlo vyprchá a přijde všední den, rychle zase spěcháme otočit vypínačem. Elektřina nám neslouží dosud příliš dlouho – v tisícileté lidské historii to představuje jen nepatrný krůček. Ale přece už i ona má své dějiny a slavné osobnosti.**

## V HLOUBI ČASU

Elektrické jevy znali a pozorovali již ve starověku. Už řečtí filozofové a učenci věděli, že tře-li se jantar, začne přitahovat vlasy, ovčí chlupy apod. Tento jev ověřený praxí si vysvětlovali jako projev „duše“ jantaru, probuzený právě třením. Stejně tak si vykládali i projevy magnetismu, které pozorovali u přírodního magnetitu. I když jejich výklad není správný a můžeme jej považovat snad i za naivní, je vidět, že staří Řekové byli nejen dobrými pozorovateli přírody, ale hledali i vysvětlení svých pozorování.

Kromě „duše“ jantaru znal starověk ještě jeden zdroj elektřiny – elektrické ryby. Takový úhoř elektrický nebo rejnok elektrický dokáží „vyrobit“ poměrně vysoké napětí. Elektrický úhoř, obyvatel tropických vod Střední a Jižní Ameriky, svými až 300 volty ochromí i koně, natož člověka. Antický svět znal pravděpodobně afrického sumce elektrického, který se objevuje i v Nilu. Disponuje napětím až 200 voltů. Zachovaly se zprávy o využívání jejich elektrických „šoků“ k léčbě nervových onemocnění. Zdá se, že v tomto případě měli antičtí lékaři velmi moderní přístup.

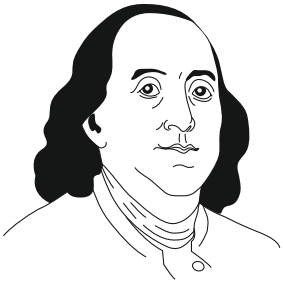
Prakticky se stejnými znalostmi se pak spokojili lidé po řadu století. K jantaru v souvislosti s elektřinou se vrátil i první muž, o kterém se musíme zmínit. Byl to **William Gilbert** (1544–1603), londýnský lékař. I když v medicíně to dotáhl hodně daleko, až na osobního lékaře královny Alžběty a jejího následníka Jakuba I., na věky se proslavil svým koníčkem. S oblibou totiž pěstoval fyziku, především se zabýval studiem elektrických a magnetických jevů. A právě on dal elektřině její jméno podle řeckého slova **elektron**, které neznamená nic jiného než jantar.

Gilbert jako první vysvětlil v rámci tehdejších možností rozdíl mezi elektřinou a magnetismem a určil její hlavní vlastnosti. Stál na počátku ve své době tak oblíbených pokusů s „třecí“ elektřinou. Tento druh elektřiny sice nemá praktické užití, ale dá se jím působit mnoho zábavy, zvláště když její projevy působí na nezasvěceného diváka jako nějaká tajemná, nadpřirozená síla. S jejími projevy se samozřejmě setkáváme dodnes, říkáme jim ovšem **statická elektřina**.

Mnoho předních učenců se zabývalo vymýšlením nejrůznějších strojků a zařízení k vyvolání a ovládnutí elektrických sil. Z té doby také pochází kdysi tak populární elektrický zdroj – leidenská láhev. Ve Francii se těmito pokusy zabýval abbé **Nollet**. Svého krále bavil tím, že přenesl elektrický náboj na celou setninu gardistů a později dokonce na tři sta mnichů spojených mezi sebou železnou obručí.

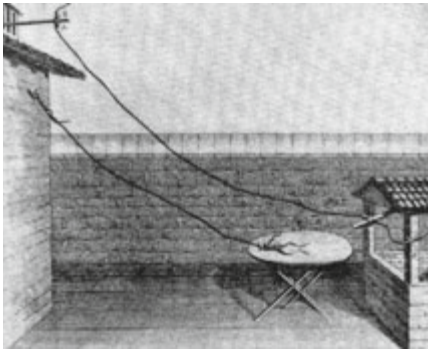
U nás patřil k prvním průkopníkům známý **Prokop Diviš** (1696–1765, vlastním jménem Václav Divíšek). O jeho bleskosvodu se dobře ví, ale tento mimořádně

Prokop Diviš



Benjamin Franklin

Alessandro Volta



Vyobrazení slavného pokusu s žabími stehýnky

vzdělaný kněz používal elektřinu i k léčení lidí, studoval její vliv na rostliny a dokonce vynalezl elektrický strunný nástroj Denis d'or. S tímto nástrojem, napájeným z leidenských lahví, se předváděl až u císařského dvora ve Vídni.

Mluvíme-li o Divišovi, nesmíme zapomenout na jeho velkého rivala v boji o prvenství při vynálezu hromosvodu. **Benjamin Franklin** (1706–1790) pocházel z Bostonu a vyučil se u svého bratra tiskařem a knihkupcem. Také jeho však zlákala fyzika, především elektřina.

Proslavil se důkazem elektrického charakteru blesku a s tím souvisejícím vynálezem bleskosvodu. Byl ovšem mužem velmi mnohostranným – zabýval se i politickou činností a patřil k autorům první ústavy USA.

Přes seznámení se s muži slavnými i učenými jsme však v historii elektřiny teprve na samém prahu. Pravý věk elektřiny totiž nastal až tehdy, když elektřinu statickou vystřídala energie dynamická – elektrický proud.

## „ŽIVOČIŠNÁ ELEKTŘINA"

Jak už to v životě někdy bývá, k objevu elektrického proudu došlo vlastně souhrou náhod a omylů. **Luigi Galvani** (1737–1798), profesor anatomie v Bologni, byl muž, kterého fyzika a elektřina nijak zvlášť nezajímaly. Jednoho dne však při pitvání žab zpozoroval, že na plechu položená žabí stehýnka sebou při doteku skalpelem škubnou.

To ho zaujalo (některé prameny dokonce tvrdí, že první si tohoto jevu všimla Galvaniho manželka) a začal hledat příčinu. Provedl stovky pokusů s žabími stehýnky i jiným živočišným materiálem a své výsledky shrnul v učeném spise. Záškuby stehýnek vysvětloval „živočišnou elektřinou", která prý působí v každém živém těle. Svým objevem se stal velice populárním a získal řadu žáků a přívrženců. A přece se velmi a velmi mýlil.

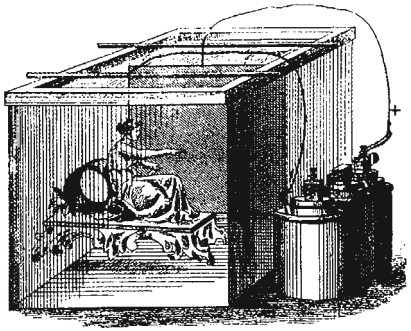
Galvaniho pokusy správně vysvětlil až jeho krajan **Alessandro Volta** (1745–1827), profesor na univerzitě v Pavii. Všechny teorie o živočišné elektřině důrazně popřel a našel řešení mnohem praktičtější, zároveň ovšem i méně efektní. Volta pochopil, že základem jevu jsou jen dva různé kovy, umístěné ve vlhkém prostředí.

Tedy kov plechu a skalpelu ve vlhkém svalu. Vzbudil tím samozřejmě u Galvaniho a jeho příznivců velkou bouři odporu, ale Volta jim předložil nezvratitelný důkaz. Stejný jev jako Galvani vyvolal tzv. Voltovým sloupem, což je obyčejný sloupek střídavě na sebe pokládaných stříbrných mincí a zinkových kotoučků. Ty jsou mezi sebou proloženy vlhkými plstěnými kolečky. Tedy žádná živočišná elektřina, ale skutečně jen dva kovy ve vlhkém prostředí.

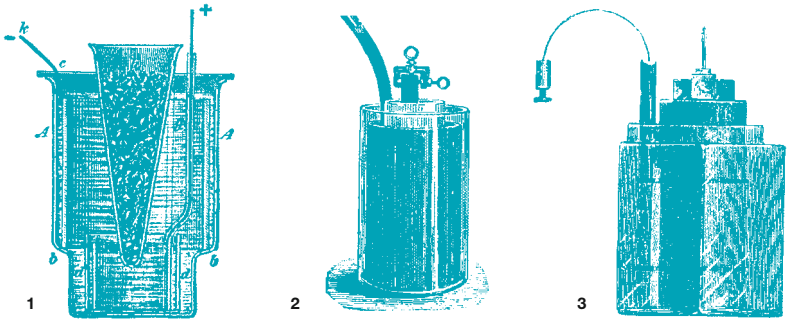
Asi takhle vypadal Oerstedův pokus s magnetickou střelkou

Volta ve svém sporu zvítězil a získal za to mnoho pocta a uznání. Ještě důležitější však je, že svým Voltovým sloupem vlastně sestrojil první zdroj elektrického proudu. Pýcha však nebyla Voltovou vlastností – jako uznání Galvaniho zásluh nazval proud ze svého článku **galvanickým** a celý jev **galvanismem**.

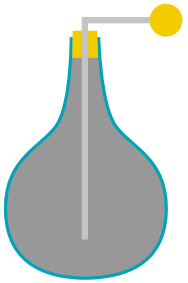
Je zajímavé, že i u dalších pokroků ve studiu elektřiny nalezneme lékaře. Byl jím tentokrát Dán **Hans Christian Oersted** (1777–1851). Syn lékárníka v malém



Galvanický proud se dal účelně využívat k pokovování předmětů




První zdroje galvanického proudu: Článek Leclancheův (1), Bunsenův (2) a Meidringův (3)



Leidenská láhev – elektrický náboj se ukládal na kovové vrstvě uvnitř láhve. Sklo mu zabraňovalo v samovolném vybíjení.

Hans Ch. Oersted

André Maria Ampère

Charles Auguste de Coulomb

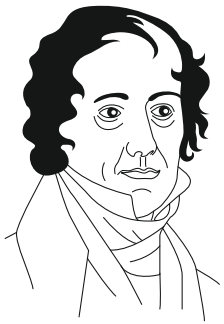
dánském městečku získal doktorát už ve 22 letech. Krátce po tom začal přednášet na univerzitě chemii a fyziku. Říká se, že zcela náhodou, uprostřed pokusu při jedné přednášce, si Oersted povšiml, že elektrický proud působí na střelku kompasu. Tento postřeh měl dalekosáhlé důsledky. Za prvé pomohl k objevu elektromagnetu, ale především dal impuls Oerstedovým následovníkům k dalším pracem na definování elektrického proudu.

Tím největším z těch, kdo se chopili této příležitosti, byl francouzský matematik a fyzik **André Marie Ampère** (1775–1836). Ampére neprožil příliš šťastný život. Jeho otec skončil za bouřlivých časů francouzské revoluce pod gilotinou a mladý André se po celý čas musel potýkat s existenčními potížemi. Snad i proto se cele zasvětil vědě. Již ve čtrnácti letech prý přečetl všech 20 svazků francouzské Encyklopedie. Později vyučoval na světově proslulé polytechnické škole v Paříži. Byl spíše matematik, ale skutečnou slávu mu přinesla fyzika, především jeho výzkumy v elektřině a magnetismus. Byl to on, kdo zavedl jasný pojem elektrického proudu. Uzavřel tak jednu důležitou etapu bádání – díky elektromagnetu umí věda přeměnit elektřinu v magnetismus. Stále ji však čeká pro praxi mnohem důležitější úkol – přeměnit magnetismus na elektrický proud.

## VELCÍ TEORETICI

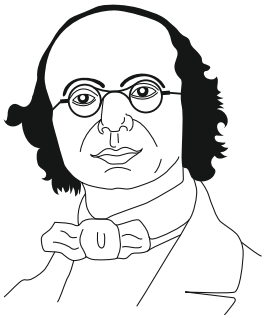
Než se vydáme za řešením právě naznačeného úkolu, zastavme se ještě na chvíli u několika velkých jmen. Každé z nich znamená krok vpřed. Mezi daty jejich narození leží sto let – sto let, ve kterých se zrodilo lidské poznání elektřiny.

První, kdo z elektřiny, dosud zábavné hračky, učinil objekt hodný vědeckého bádání, byl francouzský vojenský inženýr **Charles Auguste de Coulomb** (1736–1806). Byl specialistou na vojenské stavby, ale vlastním založením především vědec. Skvělé výsledky v oboru navigačních zařízení ho dovedly až na místo člena francouzské Akademie. Tady ho čekalo 13 let plodné práce, ve



Jean Baptiste Biot

Karl Friedrich Gauss



Wilhelm Eduard Weber

Georg Simon Ohm

kterých objevil některé základní zákony nové vědy o elektřině. Zákony, které se učíme dodnes. V té době také sestrojil torzní váhy pro měření extrémně malých sil, které se stále používají jako součást četných měřicích přístrojů. V době revoluce se Coulomb uchýlil do ústraní a k vědecké práci se vrátil zase až po nástupu Napoleona k moci. Na jeho výsledcích stavěl později Ampère.

K dnes už méně známým vědcům patří ve své době poctami zahrnovaný francouzský matematik a fyzik **Jean Baptiste Biot** (1774–1868). Jeho vědecký rozmach byl velmi široký. Jako jeden z prvých zkoumal vědecky meteority. Spolu s **Gay-Lussacem** vystoupil roku l804 balonem až do výšky 7 kilometrů a konal tam vědecká pozorování. Studoval také podstatu světla. Pro nás jsou nejzajímavější jeho pokusy s magnetickým polem vytvořeným okolo vodiče elektrického proudu.

**Karl Friedrich Gauss** (1777–1855), německý astronom, fyzik a geodet, byl ve své době nazýván knížetem matematiků. Mimořádným počtářským nadáním na sebe upozornil už jako „zázračné“ dítě.

Se svým univerzitním kolegou W. Webrem sestrojil elektromagnetický telegraf. Stál také u zrodu první vědecké soustavy fyzikálních jednotek, což je pro moderní vědu zcela nepostradatelný předpoklad.

Jméno dalšího vědce naší galerie určitě znáte. Je totiž autorem nejzákladnějšího „elektrického“ zákona. **Georg Simon Ohm** (1787–1854) neprožil šťastný život. Narodil se v rodině zámečnického mistra v městečku Erlangen v Německu.

Brzy mu zemřela matka, ale otec se o něj velmi dobře staral sám – dokonce studoval matematiku a fyziku, aby mohl synovi pomáhat v odhalování jejich tajů. Při studiích však Ohm stále narážel na nedostatek finančních prostředků. To trvalo i nadále, v době, kdy se sám stal středoškolským profesorem. Nikdy se nemohl plně věnovat vědecké práci. Navíc bylo jeho pravidlo (dnes známý Ohmův zákon) po zveřejnění tvrdě odmítnuto. Teprve roku 1841 se mu dostalo prvního ocenění, obdržel vyznamenání od londýnské Královské společnosti. Roku 1849 byl povolán jako profesor na mnichovskou univerzitu – splnilo se tak jeho celoživotní přání, ale to mu už bylo 62 let a tak se z dosaženého cíle dlouho netěšil.

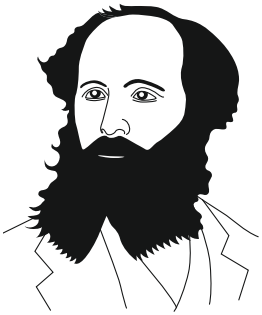
První z amerických fyziků, o kterém si budeme vyprávět, nepatří vlastně ani úplně mezi teoretiky. Vědecká síla **Josepha Henryho** (1797–1878) spočívala především v experimentu. Hlavním oborem jeho dráhy plné poct a vědeckých uznání byl elektromagnetismus. Připisuje se mu i objev vzájemné indukce (nezávisle na M. Faradayovi), patřil k průkopníkům telegrafu. Přednášel na slavné Princetownské univerzitě, svou kariéru završil jako prezident Národní akademie věd ve Washingtonu.

Již dvakrát jsme se zmínili o telegrafu. Dnes, v době telekomunikačních satelitů, faxů a podobných vymožeností, nám telegraf připadá jako historická kuriozita. Ale ještě pro naše pradědečky nebo dědečky představoval zázrak rychlosti a technické dokonalosti.

Jedním z otců elektromagnetického telegrafu byl i kolega C. F. Gausse, německý vědec **Wilhelm Eduard Weber** (1804–1891). Profesorem fyziky se stal již v pouhých 27 letech. Kromě telegrafu vytvořil i dodnes platnou soustavu elektrických měr. Uznání si však vydobyl nejen vědeckými úspěchy, ale i občanskou statečností. Patřil k hrstce vědců, která se postavila proti svévolnému zrušení ústavy králem. Pět let pak neměl přístup na univerzitu, ale nátlaku nepodlehl.

Skutečným teoretikem byl skotský fyzik **James Clerk Maxwell** (1831–1879). Jeho životním dílem je **Dynamická teorie elektromagnetického pole**, proslulá dokonalou matematickou formulací. **Albert Einstein** o ní prohlásil, že byla nejúchvatnějším předmětem v době jeho studia. Jiný nositel Nobelovy ceny, **Max von Laue**, ji nazval uměleckým dílem budícím nadšení. Není na

Joseph Henry



James Clerk Maxwell

Heinrich Hertz

Michael Faraday

místě o tom pochybovat, ale je zřejmé, že bádání v oboru elektřiny a magnetismu se právě v díle tohoto vědce dostalo už do sfér otevřených jen vyvoleným.

Na Maxwellovo teoretické dílo geniálně navázal německý fyzik **Heinrich Hertz** (1857–1894), asistent známého vědce **H. Helmholtze**. V době, kdy působil jako profesor techniky v Karlsruhe, experimentálně potvrdil existenci elektromagnetických vln, které Maxwell předpověděl a matematicky popsal. Hertz také dokázal, že i světlo je v podstatě elektromagnetické vlnění. A tak se i přesto, že mu nebylo dopřáno, aby své vědecké dílo dokončil, zapsal do dějin vědy o elektřině zlatým písmem.

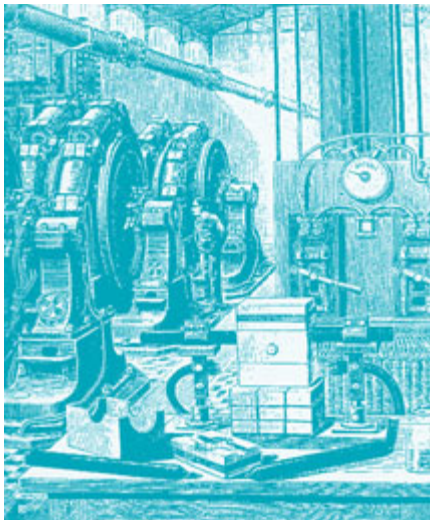
Po této krátké exkurzi je však nejvyšší čas vrátit se do praktického života. Věda, jak již víme, stojí před úkolem přeměnit magnetismus na elektrický proud. Muže, který to dokáže, musíme vyhledat v Londýně.

**„Přeměň magnetismus v elektřinu!“** Tato slova si někdy kolem roku 1822 zapsal do svého zápisníku mladý muž, který svou vědeckou dráhu začal umýváním laboratorních zkumavek. Začněme však od začátku.

**Michael Faraday** (1791–1867) pocházel ze zcela chudobné rodiny. Školou mu byla londýnská periférie. Aby uspokojil svou touhu po vzdělání, začal se učit knihařem a později se stal knihkupeckým příručím. To mu umožnilo hltat jednu knížku za druhou. V té době začal známý vědec **H. Davy** pořádat veřejné přednášky o přírodních vědách pro posluchače všech možných společenských vrstev. Brzy si povšiml nadšeného mladíka, který nechyběl na žádné z nich. A tak, když si onen mladík, a nebyl to nikdo jiný než Faraday, podal žádost o místo v laboratořích, bez rozpaků jej doporučil. Aby nedošlo k omylu – šlo o místo sluhy s povinností „po přednáškách uklízeti“.

Davy měl šikovného mladíka v oblibě a všemožně jej podporoval, ale jídat musel mladý adept vědy v kuchyni se služebnictvem. Deset let u Davyho znamenalo, kromě běžné práce nejprve sluhy a později laboranta, i deset let úporného studia. Někdy v té době si zapsal i ta památná slova. To ještě netušil, že ho čeká dalších takřka deset let, než je bude moci uvést ve skutek.

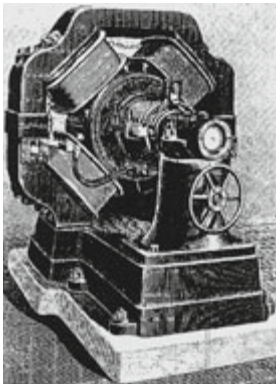
Teprve koncem roku 1831 demonstroval Faraday na schůzi Královské londýnské společnosti svůj stroj na výrobu elektrického proudu. Jeho magnetoelektrický stroj představoval měděný kotouč o poloměru 15 cm, který se otáčel mezi dvěma póly trvalého magnetu. Elektrický proud byl odváděn z kotouče dvěma kovovými kartáčky. Díváme-li se na to dnešníma očima, zdá se nám, že nemohlo být nic jednoduššího.



Brzy začaly stroje na výrobu elektřiny vypadat velmi důstojně. Na obrázku je zařízení „elektrické stanice osvětlovací“ v Paříži někdy na přelomu 19. a 20. století.

Skutečně, stačilo jen přijít na jedinou, ale geniální myšlenku – objevit magnetoelektrickou indukci. Pochopit, že elektrický proud nevzniká působením magnetického pole, ale jeho změnou. A právě na to přišel M. Faraday – po letech studia, tvrdé práce a tisíců pokusů.

První zdokonalené magnetoelektrické stroje pro praxi podle faradayova principu



Dynamo z počátku století

Siemensova elektrická lokomotiva sloužila zprvu jako vyhledávaná atrakce

začal vyrábět pařížský mechanik **Pixii**. Nad dvěma cívkami se otáčel podkovovitý magnet a v cívkách se indukoval elektrický proud. Protože nad každou cívkou se střídaly jižní a severní pól magnetu, měnil indukovaný proud stále svůj směr – vznikal střídavý proud. Otáčení nejtěžší části stroje trvalého magnetu bylo konstrukčně nevýhodné, a tak Pixii přešel brzy na opačné řešení. Okolo pevného magnetu nechal rotovat cívku. Takové řešení umožnil i Ampérův vynález sběrače proudu – komutátoru. Jako úsměvnou ironii vědecké historie dnes chápeme skutečnost, že střídavý proud, vznikající v Pixiiho stroji, byl považován za neužitečný a neupotřebitelný, takže musel být usměrňován na stejnosměrný.

Bylo však třeba vyřešit ještě jeden problém. Po roce 1840 se stavěly už mohutné magnetoelektrické stroje vybavené spoustou magnetů a cívek. Poháněny parním strojem dodávaly energii pro obloukové lampy na osvětlování ulic, budov, lodí i majáků. Jejich výkon byl ale nestálý, protože trvalé magnety časem slábnou a ztrácejí magnetismus. Teprve když londýnský profesor fyziky **Charles Wheatstone** (1802–1875) přišel na nápad nahradit trvalé magnety elektromagnety, mohl nastat skutečný elektrický věk.

## PRAKTICI

Faradayův objev měl zásadní význam pro výrobu elektrické energie, ale nesmíme zapomínat ani na další souvislosti. Na stejném základě jako magnetoelektrický stroj vznikají první elektromagnetické stroje – to znamená první elektromotory. Využívají Faradayův princip, ale opačně. Elektrickou energii převádějí pomocí magnetismu na mechanický pohyb. První takový stroj postavil profesor fyziky na petrohradské univerzitě **Moritz Hermann Jacobi** (1801–1874). Jako zdroj použil sadu 320 galvanických článků a svým mototem poháněl malý člun na Něvě. Podobných elektromotorů byla postavena celá řada, vzbuzovaly totiž naději na zásadní obrat v dopravě. Například Američan **Thomas Davenport** (1802–1851) poháněl elektromotorem elektrickou lokomotivu. Průkopníky elektromotoru v automobilech byli především Francouzi.

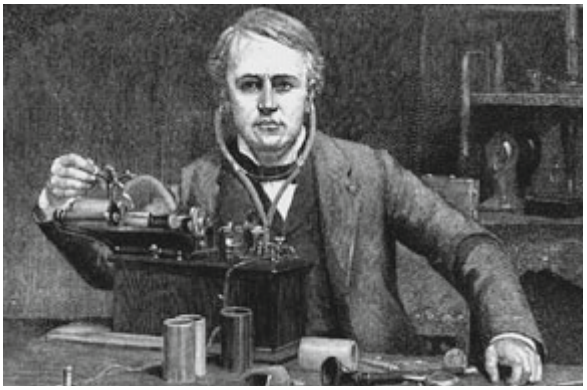
**H. Kriéger** provozoval od roku 1887 v Paříži elektrické drožky, které měly v přední nápravě dva elektromotory, poháněj ící zvlášť každé kolo. Jeho vozy dokázaly ujet až 300 km bez zastávky a nabití akumulátorů. Další konstruktér **Jeantaud** postavil elektromobil jezdící rychlostí přes 100 km za hodinu. To bylo v té době pro automobily poháněné spalovacím motorem jen snem. Elektromobily se zabýval i F. Křižík. Všechny nadějné konstrukce však ztroskotávaly na nedostatečném zdroji. Velký praktický krok vpřed v zapojení elektrické energie do dopravy učinil až německý konstruktér **Werner Siemens** (1816–1892). Pocházel z chudé rodiny, a tak kvůli získání technického vzdělání musel vstoupit na vojenskou školu. Stal se dělostřelcem, ale své poslání viděl jinde. Zdokonalil telegraf, generátor, vynalezl prakticky využitelnou elektrickou lokomotivu (napájenou z kolejového a později trolejového vodiče). Úspěšný byl i mimo obor elektřiny – postavil potrubní poštu, vylepšil vodoměr atd. Firma „Siemens a Halske“, kterou založil, neztratila na své proslulosti dodnes.

## POVOLÁNÍ: VYNÁLEZCE

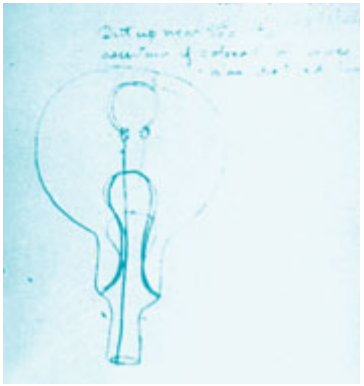
Asi bychom těžko hledali lepšího reprezentanta postavy úspěšného vynálezce, než je **Thomas Alva Edison** (1847–1931). Za svůj plodný život získal Edison na tisíc patentů na nejrůznější vynálezy. Určitě největší popularitu mu přinesla žárovka – tu ovšem ve skutečnosti neobjevil.

Staré patentní listiny totiž vydávají neomylné svědectví o tom, že první nedokonalé žárovky se objevují již po roce 1820, tedy dávno před Edisonovým narozením. Roku 1854 se rozsvítila elektrická žárovka

Werner Siemens



Thomas Alva Edison



Jeden z prvních Edisonových náčrtů žárovky

s uhlíkovým vláknem nad hodinářským krámkem v chudém newyorském předměstí. Německý hodinář **Goebel** si ji vymyslel jako reklamní poutač. Známé jsou i žárovky anglického fyzika **Swana** a ruského vynálezce **Lodygina**, které osvětlovaly již v roce 1872 Oděskou ulici v Petrohradě.

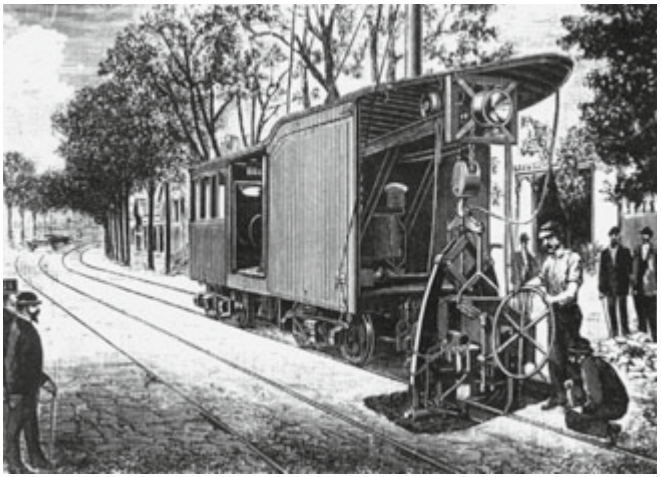
Edison žárovku podstatně zdokonalil. Její uhlíkové vlákno ve vzduchoprázdné baňce svítilo nejlépe a nejdéle. Celé měsíce trávil Edison se svými spolupracovníky v laboratoři a hledal nejvhodnější materiál pro vlákno své žárovky. Zkoušel desítky surovin. Z celého světa sháněl rostlinná vlákna, trpělivě je zuhelnaťoval a žhavil ve své žárovce. Stokrát byl na pokraji úspěchu a stokrát odcházel zklamán. Přes 6 000 různých vláken vyzkoušel, než jeho žárovky začaly svítit, nejprve 300 a později až 600 hodin.

Stačilo by to však k tomu, aby byl právem považován za skutečného zakladatele elektrického osvětlení? Edison udělal mnohem víc. Vyřešil celý problém elektrického osvětlení od A do Zet, vypracoval a prakticky zkonstruoval celý systém.

Prvních 150 Edisonových žárovek osvětlovalo od roku 1880 zábavní parník **Columbia**. Ale již rok na to otevírá Edison první dvě veřejné elektrárny. Jednu malou vodní a druhou parní v Perlové ulici v New Yorku. Tady pracují dvě obří dynama schopná rozzářit tisíce žárovek. Edison je ovšem mužem praxe a tak konstruuje a zdokonaluje elektrická vedení, zásuvky, vypínače a pojistky. Jen tak může totiž dostat bezpečně elektrický proud do stovek a tisíců domácností, aby tam opravdu sloužil. Nepodceňuje ani ekonomická hlediska a konstruuje – elektroměr. Edisonův elektroměr využíval elektrolýzu. Mezi dvěma deskami z čistého zinku procházel proud. Přitom z kladné desky se zinek „stěhoval“ na desku zápornou. Vždy po měsíci vyměnila elektrárna u spotřebitele desky v elektroměru za nové, o stejné hmotnosti, a po zvážení a porovnání starých desek vypočetla spotřebu proudu.

Edison vždy pracoval se stejnosměrným proudem a jeho neochvějným zastáncem zůstal až do své smrti. Jiní technici a vynálezci však nacházeli mnohé výhody v používání střídavého proudu. A tak se svět elektřiny rozdělil na dva nesmiřitelné tábory. V čele „stejnosměrných“ stály spolu se samotným Edisonem i další významné osobnosti, například lord **Kelvin**. Tábor odpůrců vedla především dravá firma Westinghouse a našli bychom v něm především novou generaci mladých odborníků, jakým byl Nikola Tesla. Boj se neodehrával jen na vědeckém kolbišti, vítězství mělo i značný ekonomický dopad, a tak se používaly často velmi nevybíravé argumenty. Když například firma Westinghouse získala státní zakázku na výrobu elektrického křesla pro popravy těžkých zločinců, využili toho „stejnosměrní“ ke kampani o nebezpečnosti střídavého proudu. Pokrok se však dá těžko zastavit a střídavý proud své přednosti prokazoval na každém kroku. Proto první velká vodní elektrárna světa, na Niagarských vodopádech, byla roku 1896 spuštěna již jako zdroj proudu střídavého.

V našem vyprávění už padlo jméno **Nikola Tesla** (1856–1934) a je čas, abychom si o něm řekli víc. Pocházel z rodiny pravoslavného kněze v Dalmácii. Studoval v Praze a právě tady získal základy pro své další působení. Brzy po odchodu z pražské techniky na sebe upozornil několika praktickými vynálezy a získal nabídku od pařížské filiálky Edisonovy společnosti. Osvědčil se, a to znamenalo cestu do Ameriky a přímou spolupráci s Edisonem. Dva velcí odborníci se však neshodli. Edison stál pevně na „stejnosměrné“ pozici a Tesla se nenechal ve svém přesvědčení ovlivnit ani „králem“ vynálezců. Získal pak řadu vlastních patentů, ve svém hlavním projektu – vyřešení bezdrátového přenosu elektrické energie – však nakonec neuspěl. Tento problém není ovšem uspokojivě vyřešen dodnes.



Elektřina začala pronikat do mnoha oborů

Křižíkova fontána

## A JAK TO BYLO DOMA?

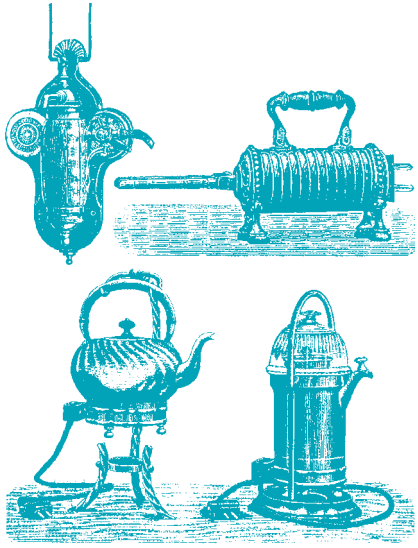
Za nestora elektrifikace v českých zemích je právem považován inženýr **František Křižík** (1847–1941). Elektřině zasvětil celý život. Za podstatné zdokonalení obloukové lampy obdržel první cenu na výstavě v Paříži roku 1881. Jeho lampa mu přinesla i významné obchodní úspěchy, a to mu umožnilo zřídit si roku 1884 elektrotechnický závod v Praze-Karlíně, který se pak během let stal praktickou školou desítek českých elektrotechniků.

Zabýval se konstrukcí a výrobou elektrotechnických zařízení v celé šíři, vyráběl dynama i elektromotory, ale nejvíce se asi proslavil zaváděním elektrické tramvaje v Praze. První elektrická dráha u nás jezdila po trase asi 800 m dlouhé z Letné k výstavišti. Vozila návštěvníky slavné Jubilejní výstavy z roku 1891. Na Jubilejní se ostatně Křižík opravdu „vytáhl“. Nejenže zřídil v celém areálu elektrické osvětlení obloukovými lampami vlastní konstrukce i žárovkami, ale jeho tři dynamoelektrické stroje vyráběly proud i pro další atrakce. Byl to především obří reflektor umístěný na věži Průmyslového paláce a hlavně proslulá světelná fontána, obnovená po sto letech jako přední pražská turistická atrakce.

Křižík vybudoval i první českou elektrifikovanou železnici mezi Bechyní a Táborem. Asi je zbytečné zdůrazňovat, že slouží dodnes. My jsme vám však slíbili Křižíkovy elektromobily. Sestrojil celkem tři, všechny fungovaly, ale nenašly další uplatnění. Asi nejznámější byla čtvrtá konstrukce, při které Křižík použil k dobíjení akumulátoru spalovací motor Laurin a Klement. Tato kombinace se dnes běžně používá u elektrických lokomotiv na neelektrifikovaných tratích.

Stejně jako v Americe se však i u nás schyluje k souboji mezi zastánci střídavého a stejnosměrného proudu. Křižík reprezentuje tábor stejnosměrných, jeho odpůrcem je kupodivu jeden z mála českých žáků T. A. Edisona – Emil Kolben. Souboj je rozhodnut právě na prahu nového století. Roku 1900 jsou spuštěny generátory nové pražské elektrárny v Holešovicích. Vyrábějí střídavý proud.

Inženýr **Emil Kolben** (1862–1943) vystudoval malostranskou reálku a České vysoké učení technické. Díky vynikajícím studijním výsledkům získal cestovní stipendium, vydal se do Ameriky a brzy se stal asistentem u Edisona. Čekalo jej tam setkání, které jej pravděpodobně ovlivnilo na celý život. V té době totiž u Edisona ještě pracuje N. Tesla a oba mladí muži se rychle sblíží.



Elektřina začíná ovládat domácí práce

František Křižík

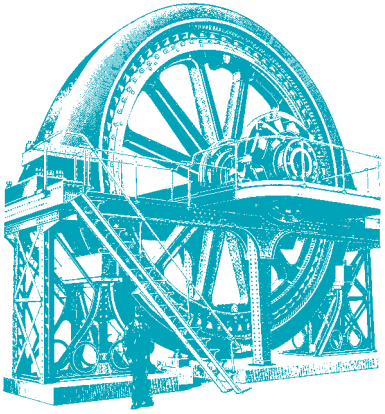
Kolben přebírá Teslovo nadšení pro střídavý proud – později si všechno zopakuje ve sporu s F. Křižíkem. Ještě několik let však u Edisona zůstává a do Evropy se vrací jen na krátké návštěvy.

Teprve roku 1896 se plný neocenitelných zkušeností vrací domů a zakládá ve Vysočanech elektrotechnický závod. Začíná v provizorní dřevěné dílně s 25 dělníky a jednou parní lokomobilou. Jeho výrobky však jdou i do zemí, kde se žádá špičková úroveň – do Anglie, do Francie, do Německa. Závod se rozrůstá, roku 1905 staví už Kolbenka kompletní elektrárny po celých Čechách i v zahraničí. Značka ČKD získává proslulost.

Den po příchodu nacistických okupantů odchází inženýr Kolben do ústraní. Přesto je více než osmdesátiletý stařec odvlečen do Terezína, kde v koncentračním táboře roku 1943 umírá. Patřil k našim nejpřednějším průkopníkům elektrotechniky, může se směle srovnávat s Františkem Křižíkem. Přesto bylo jeho jméno i zásluhy jako představitele kapitalismu po léta zamlčovány.

V historii rozvoje elektrifikace v Čechách má však své pevné místo.

Ukázka výrobků Křižíkova karlínského závodu na Jubilejní výstavě v Praze roku 1891



První vyráběná dynama byla vskutku impozantních rozměrů

# ZAČALO TO V...

**Po objevení elektrických jevů lidé usilovali o praktické využití elektrické energie. Velkým přínosem byly pro lidstvo objevy telegrafu a telefonu. První elektrické stroje byly zcela závislé na výkonu galvanických článků, baterií, a proto zpočátku nenašly praktické uplatnění. Až když Werner Siemens sestrojil fungující dynamo, byly vybudovány první elektrárny a elektřina začala opravdu sloužit – k osvětlení, v dopravě, k pohonu strojů v továrnách či k tavení kovů v hutích a slévárnách. Nejprve se využíval stejnosměrný proud, jehož možnosti, vzhledem k tomu, že jej nebylo možno transformovat, byly značně omezené. Později nastoupil vítěznou cestu do domácností a továren proud střídavý. Zásluhou českých elektroinženýrů Františka Křižíka a Emila Kolbena se naše země podílely významnou měrou na elektrotechnickém pokroku lidstva.**

## OD BATERIÍ K PRVNÍMU DYNAMU

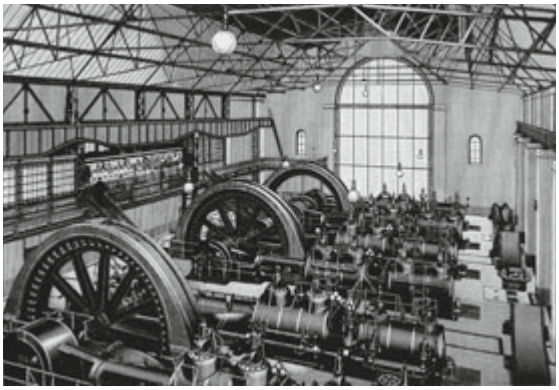
Elektřina byla jedním z mála jevů, které zůstaly lidstvu po dlouhá a dlouhá staletí více méně utajeny. Až teprve v 17. století se začalo s prvními pokusy se statickou elektřinou. Objevy elektrochemických zdrojů proudu **L. Galvanim** v roce 1786 a zejména pak objev indukčního zákona v roce 1831 **Michaelem Faradayem** vedly k sestrojení prvních magnetoelektrických strojů.

Ty však mohly využívat elektrickou energii jen omezeně, tak jak jim to dovolovaly vnější zdroje, jimiž byly galvanické články. Například německý inženýr **Moritz Hermann Jacobi** zdokonalil v ruském Petrohradě elektromotor, kterým dokonce poháněl již roku 1838 po řece Něvě člun. Pro příliš vysokou cenu baterií však musel pokusů záhy zanechat.

Od dob italského fyzika **Alessandra Volty**, vynálezce elektrického článku (1800), se sice mnozí vědci a technici stále pokoušeli o zdokonalování galvanických článků (například roku 1866 vynálezce suché baterie **Georges Leclanché**), ale výsledky jejich snažení, kromě telegrafu a telefonu, na praktické využití elektrické energie nestačily. Historický obrat nastal o rok později, v roce 1867, kdy se německému vynálezci a podnikateli **Werneru von Siemensovi** podařilo zkonstruovat moderní dynamoelektrický stroj, v němž použil k vytvoření magnetického pole namísto trvalých magnetů elektromagnety. Vynález **dynama** umožňoval výrobu elektřiny ve velkém množství. Siemens tehdy napsal: „V současné době technika umožňuje vyrábět levně a pohodlně neomezeně veliký elektrický proud, který je k dispozici jako pracovní síla.“

## WERNER VON SIEMENS

Německý vynálezce a podnikatel Werner von Siemens se narodil v roce 1816. Z finančních důvodů si nemohl dovolit civilní studia, a tak se roku 1838 stal důstojníkem pruského dělostřelectva. Již během vojenské služby vynikl mnoha vynálezy z oboru elektrotechniky: vyvinul postup pro galvanické pokovováni, ručičkový tiskací telegrafní přístroj a izolaci elektrického kabelu. Jeho firma, kterou založil spolu s mechanikem **Johannem Georgem Halskem**, zřizovala telegrafní vedení na celém světě a kladla i podmořské kabely. Roku 1866 vyrobil elektrické dynamo, roku 1879 prototyp elektrické lokomotivy, o rok později zkonstruoval výtah a roku 1881 tramvaj. Za své zásluhy byl povýšen do šlechtického stavu. Úspěšnými vynálezci i podnikateli byli i další dva Siemensovi bratři, Friedrich a Wilhelm.



Pohled do strojovny elektrárny na sklonku devatenáctého století

Spolu vyvinuli plynovou pec pracující při vysokých teplotách. Zajímavostí je, že každý z bratrů působil v jiné zemi. Nejstarší Werner zůstal v Německu, Wilhelm působil v Anglii, kde byl povýšen do šlechtického stavu, a nejmladší Friedrich pracoval v Rusku, kde založil tamní telegrafní síť.

## PRVNÍ ELEKTRÁRNY

V devadesátých letech minulého století již nic nestálo v cestě vzniku prvních elektráren, které využívaly dynamoelektrické stroje vyrábějící elektřinu. Nejprve sloužila elektřina k osvětlení, záhy i pro pohon. Další využití této energie bylo jen otázkou krátkého času. Během necelého století tak byly objeveny všechny technické principy umožňující výrobu, přenos a zužitkování elektřiny.

První vodní elektrárnu na světě nechala postavit roku 1881 **firma Pullman**, zabývající se výrobou kůží, na řece Way v anglickém Godalmingu. Přetlaková turbína poháněla přímo dynamo, dodávající stejnosměrný proud, jehož větší část prodával Pullman městu. To jej využívalo především k osvětlení ulic. K zavedení elektrické energie se dokonce nechalo zlákat i několik domácností, přestože elektrické světlo bylo tehdy ještě nehospodárné a nespolehlivé. Elektrický proud byl mnohem dražší než plyn, životnost žárovek byla nepatrná, a tak není divu, že již po třech letech elektrárna zastavila provoz.

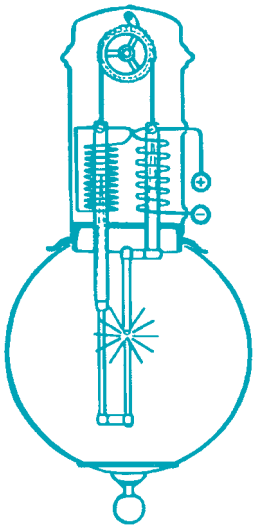
Americký vynálezce a podnikatel **Thomas Alva Edison** se řadu let zabýval vývojem elektrické žárovky a stavbou elektrických strojů. Již v roce 1879 postavil první elektrickou osvětlovací soustavu (o 115 žárovkách) na oceánském parníku. Zvlášť významný byl pro energetiku rok 1882, kdy se nejprve v lednu Edison zúčastnil výstavby londýnské elektrické centrály a ještě téhož roku stačil uvést v New Yorku do provozu první elektrárnu na světě, která zásobovala elektřinou obyvatelstvo na ryze ekonomickém základě. Již zmíněná londýnská soustava dodávala proud poštovnímu úřadu, kostelu a hostinci. Dynamo poháněné parním strojem dodávalo stejnosměrné napětí 110 V a poskytovalo dostatečný výkon pro tisíc Edisonových žárovek. Druhá soustava, uvedená do provozu rovněž v roce 1882 v New Yorku v Pearl Street, pracovala s obdobnými technickými parametry, ale šest dynamoelektrických strojů mohlo zásobit až šest tisíc žárovek. Postavení newyorské elektrárny byl čin, kterým Edison velice ovlivnil směr budoucího rozvoje energetiky. Podařilo se mu totiž uskutečnit myšlenku jednotného zdroje elektrické energie, z něhož bylo možno zásobovat (po vzoru centrálních plynáren) celé široké okolí, později i celé kraje.

Pozadu nezůstávali ani čeští vynálezci. Ve stejném roce zazářilo po dobu jednoho týdne prvních sedm obloukových lamp před Staroměstskou radnicí v Praze. Pocházely z dílny českého vynálezce **Františka Křižíka**, jehož zlepšená obloukovka byla oceněna rok předtím v Paříži na elektrotechnické výstavě zlatou medailí. Tato pařížská výstava v roce 1881 byla významná ještě z jednoho důvodu. Při příležitosti jejího uspořádání se totiž konal **první mezinárodní elektrotechnický kongres**. Přední odborníci z celého světa zde formulovali základní elektrotechnické pojmy a stanovili jednotky pro měření elektrických veličin: ampér, ohm, volt, watt. Rok 1881 je proto považován za mezník světové elektrotechniky.

## OBLOUKOVKY

Zmínili jsme se již o Křižíkově obloukové lampě, která byla natolik dobrá, že ještě dlouho úspěšně soutěžila o přízeň s Edisonovou žárovkou.

Zlatá medaile udělená Františku Křižíkovi na elektrotechnické výstavě v Paříži roku 1881



Princip Křižíkovy obloukové lampy

Původním vynálezcem obloukové lampy se stal po sedmiletém bádání v roce 1809 Angličan **Humphry Davy**, který k pólům baterie připojil dvě uhlíkové tyčinky. Po přeskočení jiskry začal mezi hroty uhlíků protékat elektrický proud a současně teplota stoupla tak vysoko, že se vytvořil jasný světelný oblouk. Uhlíky ale rychle uhořívaly, a jakmile se vzdálenost mezi nimi zvětšila, elektrický oblouk zhasl. Na zdokonalení lampy se podílela řada fyziků. Francouz **Jean Bernard Léon Foucault** navrhl o čtyřicet let později přibližování uhořívaných uhlíků pomocí hodinového strojku a ruský fyzik **Pavel Nikolajevič Jabločkov** zdokonalil v roce 1876 obloukovou lampu tím, že rovnoběžně umístěné uhlíky oddělil tavitelnou izolační hmotou.

Právě tato Jabločkovova „elektrická svíčka“, vystavená v Paříži, zaujala **Františka Křižíka**. Aby uhlíky ohořívaly rovnoměrně v celém průřezu, umístil je proti sobě a k udržení stejné vzdálenosti mezi konci využil dvojité vinutí magnetické cívky a jádro ve tvaru dvojkužele. Na toto technické řešení získal Křižík patent a jeho obloukovka se rozlétla do světa: od roku 1882 osvětlovala Norimberk a řadu měst v Rakousku, podle jeho patentu se vyráběly desetitisíce lamp v německé továrně Schuckert, ale i v Londýně a dalších městech světa. Elektrické osvětlení obloukovkami a žárovkami tak začalo vytěsňovat do té doby používané plynové osvětlení a osvětlení petrolejové. Plynové osvětlení se ale na rozdíl od petrolejového udrželo poměrně dlouho, zatímco krátký návrat k petroleji vyvolala jen hospodářská krize v letech 1930–1934. Některé ulice byly v Praze osvětleny svítiplynem až do zavedení zemního plynu na počátku osmdesátých let tohoto století.

## FRANTIŠEK KŘIŽÍK

Mezi nejznámější české vynálezce patří František Křižík. „Český Edison“ se narodil v chudé rodině v roce 1847. Když vychodil školu v rodné Plánici a v nedalekých Klatovech, vydal se se svou matkou pěšky do Prahy, aby zde mohl studovat na malostranské reálce. Maturitu ale nesložil, neboť mu chyběly peníze na povinnou taxu. Naštěstí jej osvícený profesor **Zenger** přijal na techniku i bez maturity. První úspěch zaznamenal při opravách železniční signalizace. Křižík pak nějaký čas pracoval jako přednosta železničních telegrafů. Sestrojil elektrické signalizační zařízení, které bylo postupně zavedeno v celém Rakousko-Uhersku, ale i ve Svatogotthardském tunelu ve Švýcarsku. Skutečným úspěchem byl patent na podstatné zdokonalení obloukové lampy. Obrovskou popularitu mu přinesla Jubilejní výstava 1891.

Křižík byl první, a do dnešní doby takřka jediný, kdo se v pražských ulicích projížděl v elektromobilu vlastní konstrukce. Sám Křižík stál u řidičské kliky své elektrické tramvaje, která začala jezdit v červenci 1891 s návštěvníky na výstaviště. Z pýchy postavil další linku k libeňským a vysočanským továrnám, za kterou jej žaloval Belgičan **Outlet**, provozující do té doby koňku. Pokrok se ale nedal zastavit a koňka jela po Praze naposled roku 1905, zatímco tramvaje jezdí dodnes. Zajímavé je, že díky současnému velkému dopravnímu provozu se průměrná rychlost našich moderních tramvají zvýšila oproti Křižíkovým jen o necelý 1 km/h. Maximální rychlost už ale samozřejmě srovnávat nemůžeme. Křižík byl skvělým technikem, konstruktérem a vynálezcem, ale o to horším obchodníkem. Od roku 1917 pod jeho jménem podnikala akciová společnost, zatímco se Křižík stáhnul do ústraní.

Slavnostní osvětlení Karlova mostu u příležitosti návštěvy panovníka 1907

Montáž vedení troleje na trati mezi Táborem a Bechyní

Do veřejného života vstoupil naposled těsně před druhou světovou válkou, kdy se pokusil svým poselstvím Albertu Einsteinovi vyburcovat lidi a upozornit je na strašlivé válečné nebezpečí. Zemřel v jižních Čechách v roce 1941, ale závod, který založil, nese jeho jméno dodnes.

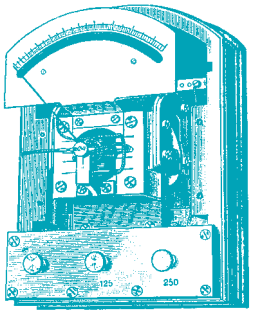
## PRVNÍ ELEKTRICKÁ OSVĚTLENÍ

V sedmdesátých letech minulého století se na našem území začaly objevovat první elektrické soustavy tvořené dynamem, vodiči a Křižíkovými obloukovými lampami, nebo již Edisonovými žárovkami. Součástí každé takové soustavy byla i malá parní elektrárna, jejíž dynamo bylo poháněno pístovým parním strojem či turbínou.

Rozvod elektrické energie na delší vzdálenosti neexistoval, a ani existovat nemohl, protože stejnosměrný proud, který dynama vyráběla, nebylo možné transformovat. Dynama musela produkovat potřebnou energii přímo na místě spotřeby. V roce 1878 bylo do tkalcovny v Moravské Třebové instalováno šest dynam a šest obloukových lamp s proudem 25 ampér. V tomtéž roce byla osvětlena obloukovkami plzeňská papírna **Ludvíka Pietta**, cukrovar v Židlochovicích, Měšťanský pivovar v Plzni a brzy nato i řada dalších závodů. Po osvětlení továren se začalo s výstavbou osvětlení divadel a veřejných prostranství (Jindřichův Hradec, Písek, Pardubice).

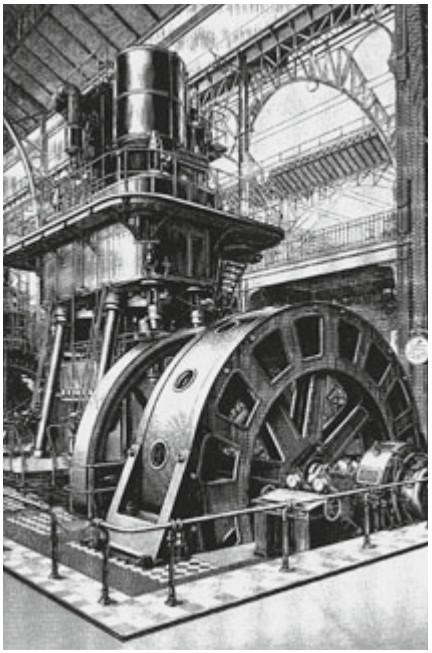
O tom, že naše země šly v té době v čele pokroku, svědčí i skutečnost, že již v roce 1882 postavil Thomas Alva Edison jako první v Evropě ústřednu v dnešním Janáčkově divadle v Brně. Poprvé tak bylo na starém kontinentu využito žárovkového světla ve veřejné místnosti. V tomtéž roce ozářily Křižíkovy obloukovky pražské **Stýblovo** knihkupectví a **Hainzovo** hodinářství na Staroměstském náměstí. V roce 1889 vybudoval Křižík velkou elektrárnu v Praze na Žižkově, kde zpočátku pracovala čtyři dynama a poté ještě osm dalších. Současně bylo uvedeno do provozu žižkovské veřejné osvětlení s obloukovými lampami a žárovkami. Na síť se připojila i řada obchodů. Pro elektrárny bylo získání dalších zájemců o elektrickou energii (nejlépe továren) – kromě veřejného osvětlení – klíčovým problémem. Větší počet odběratelů totiž umožnil rovnoměrnější odběr elektrické energie po celý den, nejen v noci. Křižík osvětlil Žižkov nejprve šesti sty žárovkami (z nich většina byla umístěna v obchodech a bohatých domácnostech) a šestnácti obloukovými lampami. Tento počet se záhy rozšířil na dvě stě padesát obloukovek, tři sta žárovek na veřejné osvětlení a přes dvanáct set žárovek na osvětlení soukromé. Jasná zář obloukovek osvětlovala hlavní ulici, žárovky ulice vedlejší.

Žárovky však byly umístěny jako nouzové osvětlení i na hlavní třídě. V případě, že obloukovka zhasla, automatickým přepínačem se rozsvítila žárovka. Žižkovská elektrárna je považována za první veřejnou elektrárnu v Čechách. V Praze (Žižkov byl tehdy samostatným městem) bylo trvalé elektrické osvětlení ulic instalováno až o pět let později, a to na Václavském náměstí. O rozsahu Křižíkových instalací elektrického osvětlení svědčí například práce provedené v letech 1885–1886 na reprezentační budově na Žofíně (Slovanském ostrově). Hlavní lustr nesl dvě stě padesát žárovek, dva vedlejší lustry po sto devíti žárovkách a tento počet doplňovalo přes sto menších svítidel. Na západním konci ostrova byla zřízena domácí elektrárna se třemi plynovými motory napojenými na čtyři dynama. Další menší elektrárny pak vznikaly v různých místech Prahy, v Čechách i na Moravě. Kromě osvětlení se elektrická energie začala prosazovat i v dopravě. První městská elektrická dráha (tramvaj) v Rakousko-Uhersku byla postavena Křižíkem pro Jubilejní



S rozvodem proudu do domácností a továren vyvstal problém, jak spotřebovanou energii měřit. Technici se ale brzy vypořádali i s touto otázkou. Na obrázku je jeden z prvních elektroměrů.

Nikola Tesla



Obrovské dynamo poháněné mohutným parním strojem, které bylo vyrobeno Siemensovou továrnou

výstavu roku1891 mezi Letenskými sady a dnešním Výstavištěm. Křižík pak postavil a 21. 6. 1903 uvedl do veřejného provozu první meziměstskou elektrickou železniční trať v Rakousko-Uhersku, a to mezi Táborem – Bechyní, která po modernizaci slouží veřejnosti dosud.

Na Zemské jubilejní výstavě v Praze 1891 dosáhl Křižík vůbec největšího úspěchu. Světelná fontána byla velkolepým překvapením pro návštěvníky, stejně jako obrovský reflektor osvětlující z věže Průmyslového paláce nejen výstaviště, ale i okolí.

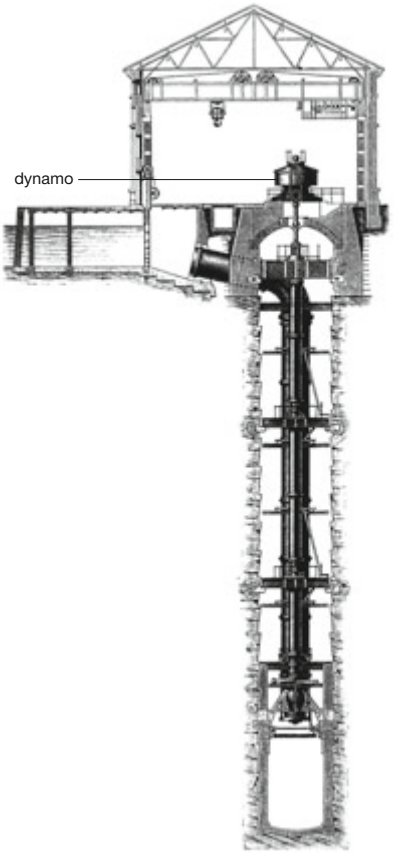
Můžeme být pyšní, že v elektrotechnice jsme v dobách její pionýrské minulosti nezůstávali za světovým pokrokem. Od zavedení telegrafu, telefonu, až po využití elektrické energie k osvětlení či dopravě jsme uváděli vždy tyto novinky do praxe ne-li jako první v Evropě, pak záhy po Americe.

## VÍTĚZSTVÍ STŘÍDAVÉHO PROUDU

Budování elektráren vedlo brzy k využívání elektřiny i mimo osvětlovací účely. Vedle dopravy (tramvaje a elektrické lokomotivy) měly možnost kupovat elektrickou energii i průmyslové závody. Podniky tak mohly využívat elektřinu, aniž by musely investovat velké peníze do nákladných zařízení na její výrobu. Tato spolupráce byla výhodná i pro elektrárny, protože, jak jsme se již zmínili, se jim vyrovnal odběr mezi dnem a nocí a odpadlo tak jejich nestejnoměrné zatížení. Přitom jim celodenní odběr zvyšoval samozřejmě i zisk. Zavedením elektřiny do průmyslu stoupalo zatížení elektráren a současně se začaly objevovat potíže spojené s vlastnostmi stejnosměrného proudu. Tento proud bylo totiž nutno rozvádět v takovém napětí, v jakém jej vyžadoval spotřebič. Toto napětí bylo většinou nízké, a rozvod elektrické energie byl tudíž na větší vzdálenost nehospodárný. Docházelo buď k velkým ztrátám kvůli odporu vodičů, nebo bylo naopak pro rozvod třeba velkých průřezů vodičů – to vedlo k vysoké spotřebě poměrně drahých kovů. Problém byl vyřešen v druhé polovině osmdesátých let minulého století objevem vlastností střídavého proudu, který dovoluje transformaci napětí. Pak bylo možné pro přenos elektrické energie využít vysokého napětí a v místě potřeby napětí transformovat na požadovanou hodnotu. Další význam pro využití elektrické energie měl objev principu točivého magnetického pole, vytvořeného působením několika střídavých magnetických polí prostorově i časově posunutých. Hlavním objevitelem tohoto vícefázového systému, který využíváme dodnes, byl Nikola Tesla.

## NIKOLA TESLA

**Nikola Tesla** (1856–1943) se narodil v rodině chorvatského kněze. Již za studií na technice ve Štýrském Hradci přišel na myšlenku sestrojit motor na střídavý proud, kterou ale jeho učitelé jednoznačně odmítali. Tesla se však nápadu nevzdal ani při dalších studiích v Praze, ani při práci v telegrafní ústředně v Budapešti, a protože svůj vynález z roku 1883 v Evropě nemohl uplatnit, odcestoval do Ameriky. Tam se spřátelil s Edisonem a po nějaký čas pracoval v jeho laboratoři. Ale roku 1887 již zakládá vlastní společnost pro obloukové osvětlení a ve své laboratoři pak dokončuje práce na dvoufázových a vícefázových elektrických soustavách.




Řez elektrárnou na Niagarských vodopádech

Teslův transformátor slouží dodnes jako experimentální a výuková pomůcka

Téhož roku přihlašuje patent na dnes nejrozšířenější třífázový indukční motor. Aby získal peníze na další výzkum, prodal za milion dolarů patentová práva americké firmě Westinghouse. Mezi jeho další objevy a vynálezy patří například objev vlnových jevů vysokých kmitočtů při vysokém napětí, tzv. Teslovo světlo ve výbojkách. Zabýval se rovněž bezdrátovým přenosem elektrické energie (neúspěšně), bezdrátovou telegrafií a zkonstruoval řadu dalších strojů a přístrojů, z nichž je vysoce ceněn i Teslův transformátor.

Nejslavnějším Teslovým vynálezem je kromě třífázového motoru zejména rozvod proudu soustavou tří fází. Do té doby totiž docházelo ve vodičích vlivem zmatené směsi kmitočtů k vyvolávání tak rušivých jevů, že proudem přeneseným na větší vzdálenost nebylo možné napájet žádný motor. Anglický inženýr **John Hopkinson** nalezl způsob, jak přenášet tři navzájem fázově posunuté střídavé proudy pomocí tří samostatných párů vedení. Tesla tento třífázový systém roku 1885 dále zlepšil a dokázal jej i obchodně využít. Využívá se takto dodnes.

Výhody střídavého proudu byly tak výrazné, že když se v roce 1892 rozhodovalo o stavbě v té době největší vodní elektrárny světa na Niagarských vodopádech, Westinghousův vícefázový systém zcela přesvědčivě zvítězil nad Edisonovým projektem spoléhajícím na stejnosměrný proud. Dva obří alternátory s tehdy ohromujícím výkonem 3 750 kW zásobovaly po dostavbě elektrárny v roce 1896 padesát kilometrů vzdálené město Buffalo vedením o napětí 11 000 V.

## KOLBENOVO VÍTĚZSTVÍ

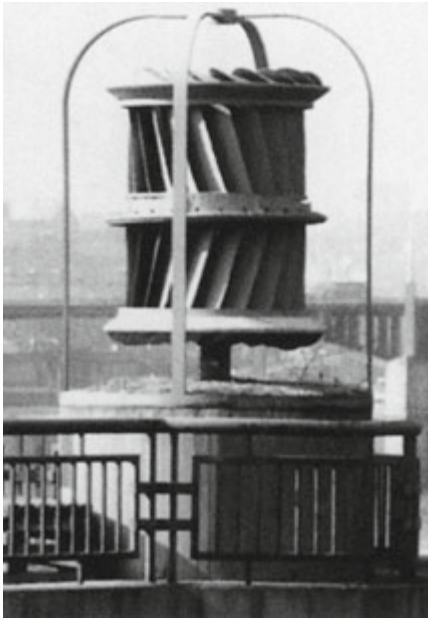
Pokrok se nedal zastavit ani u nás. Na sklonku devatenáctého století byla projektována velká tepelná elektrárna pro Prahu. Inženýr František Křižík byl zastáncem stejnosměrného proudu. Nebylo divu, vždyť s tímto systémem získal řadu úspěchů při osvětlení měst, ale i při konstrukci stejnosměrných tramvají a elektrických lokomotiv. Mužem, který se postavil proti Křižíkovu projektu, byl další vynikající český elektroinženýr **Emil Kolben** (1862–1943).

## EMIL KOLBEN

Po studiích německé techniky v Praze odcestoval díky stipendiu do Ameriky, kde se v New Yorku seznámil s Nikolou Teslou a záhy nato nastoupil u firmy Edison Machine Co. Během pouhopouhého roku se stal šéfinženýrem a brzy si díky sérii standardních typů dynam a motorů, jejichž byl konstruktérem, získal respekt odborné veřejnosti. S Edisonem se ale záhy rozešel a v roce 1896 se vrátil do Prahy, kde založil s finančníkem **K. Bondym** továrnu na výrobu elektrických strojů. Kolben na rozdíl od Křižíka razantně prosazoval třífázové střídavé motory, které se velmi rychle staly světoznámými. Ve své továrně Elektrotechnická a. s., dříve Kolben a spol. v Praze, se věnoval nejen produkci střídavých motorů, ale i třífázových alternátorů pro elektrárny. Technický pokrok na sklonku minulého století znamenal totiž bouřlivý rozvoj celého elektrárenství a s ním spojeného energetického strojírenství. Zejména definitivní vítězství

Emil Kolben

Elektrárna Holešovice



Původní Francisova turbína vodní elektrárny Štvanice

střídavého proudu nad stejnosměrným vyžadovalo nové hnací stroje s velkými výkony, ať už parní stroje, či parní turbíny. Objevila se poptávka i po velkých vodních turbínách Francisových, Peltonových či Kaplanových. K ještě většímu rozvinutí výroby elektrické energie a průmyslu s ní spojeného bránila zpočátku nejednotnost volby napětí a různé kmitočty, ale už v roce 1905 byl přijat kmitočet 50 Hz a změnil se i počet používaných napětí. Tato skutečnost umožnila velkovýrobu motorů a jejich další zdokonalování.

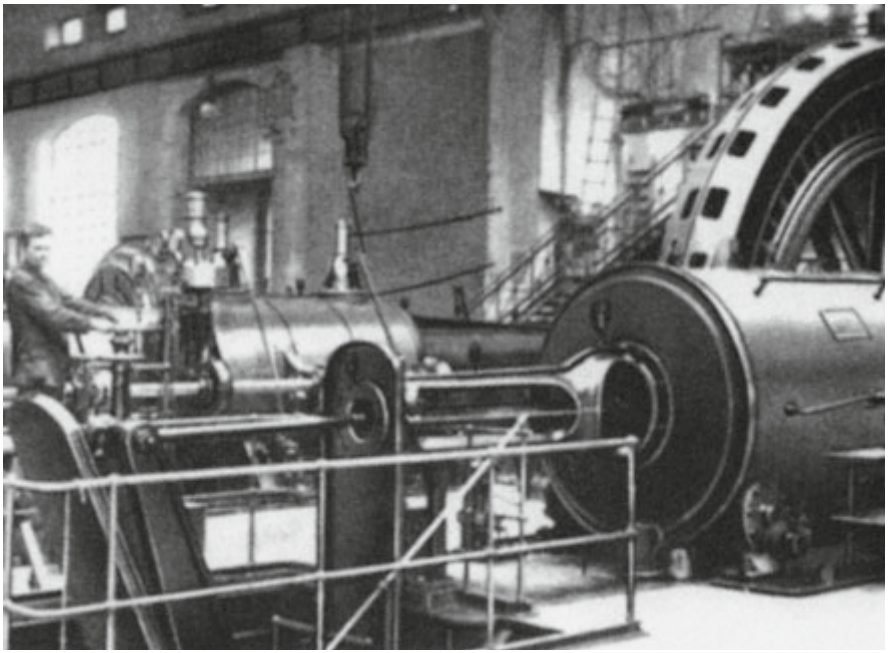
S největšími zahraničními konkurenty obstály při rozvoji elektrizace i naše firmy. Kolbenem vybudovaná Českomoravská strojírna v Praze vyráběla od roku 1905 parní i vodní turbíny, dynama, alternátory a transformátory, Škodovy závody v Plzni se věnovaly výrobě parních turbín už od roku 1904, známé byly výrobky Ringhofferovy strojírny v Praze na Smíchově či protitlaké turbíny První brněnské, která zahájila výrobu turbín už v roce 1903, protitlakých o tři roky později. Velké zásluhy o rozvoj turbín patří profesoru **Janu Zvoníčkovi** z brněnské techniky, profesoru curyšské techniky **Aurelu Stodolovi** a rakouskému rodákovi působícímu v Brně dr. Viktoru Kaplanovi, který navrhl konstrukci nové vrtulové vodní turbíny.

## ELEKTRÁRNA HOLEŠOVICE

Dne 7. dubna 1900 byla uvedena do provozu největší pražská tepelná elektrárna v Holešovicích nejprve jen se třemi parními stroji. Uhlí bylo do ní dopravováno přímo z Holešovického nádraží zvláštní vlečkou. S Vltavou byla spojena přívodním a odpadním kanálem. Kotelna byla původně vybavena šestnácti kotli. Po roce 1909 už ve strojovně pracovalo pět pístových parních strojů. Generátory pro výrobu střídavého proudu o výkonu 800 kW vyvinul a zkonstruoval Emil Kolben. Podle statistik z roku 1918, tedy v roce vzniku Československa, byla elektrárna města Prahy o výkonu 32 000 koňských sil (tj. 23,5 MW) naší největší elektrárnou. Ve zmíněném roce vyrobily elektrárna Holešovice spolu s vodní elektrárnou na ostrově Štvanice 43 milionů kWh elektrické energie, kterou zásobovaly čtyři sta sedmnáct tisíc obyvatel Prahy a okolí. Druhou největší elektrárnou byla parní elektrárna v Trmicích o výkonu 22 000 kW, která zásobovala elektrickou energií severní Čechy od Litvínova až po Liberec. Další velkou elektrárnou byla Východočeská elektrárna v Poříčí (s polovičním výkonem Trmické elektrárny, tedy 11 000 kW), dodávající elektřinu devadesáti osmi tisícům obyvatel severovýchodních Čech. Parní elektrárna Andělská Hora o výkonu 15 000 kW zásobovala Liberecko a elektrárna v Novém Sedle s výkonem 7 000 kW oblast Sokolovska, a ještě menší elektrárna v Aši západní Čechy. Největší vodní elektrárnou v Čechách byla v té době Spirova elektrárna ve Vyšším Brodě, jejíž výkon byl 8 500 kW. Mimo to pracovaly ještě menší elektrárny pro větší průmyslová města (Chomutov, Plzeň, Žatec, Ústí nad Labem, Pardubice a České Budějovice) a několik stovek malých dynam u mlýnů a pil. Zajímavostí je, že z větších elektráren (s výkonem nad 4 000 kW) byla jediná pražská v českých rukou, majitelé všech ostatních byli Němci.

V Německu zahájila výrobu elektrické energie v roce 1916 i největší evropská elektrárna Zschornewitz, zásobující proudem stotřicet kilometrů vzdálený Berlín. V elektrárně se denně pod čtyřiašedesáti kotli spálilo stopadesát vagonů hnědého uhlí. Parní turbíny spotřebovaly tehdy na výrobu 1 kWh dva kilogramy uhlí, celkový výkon elektrárny byl 128 MW.

Dnes již neexistující elektrárna Ervěnice



Elektrárna Holešovice zprovozněná v roce 1900

Nové elektrárny dodávaly výhradně střídavý proud, který mohl být pomocí vysokonapěťového vedení přenášen na značné vzdálenosti. Širokému využití střídavého proudu předcházel vynález německého fyzika **Pollaka**, který dokázal najít způsob, jak usměrnit střídavý proud na pulzující stejnosměrný. Jeho usměrňovač byl založen na rotačním mechanismu, který přepojoval směr polarizace každé druhé půlvlny střídavého proudu. Stejnosměrným proudem se nabíjely akumulátory a značnou část ho spotřebovala železnice a elektrické tramvaje.

## ELEKTRIZACE ČESKOSLOVENSKA

Podle statistik existovalo v roce 1918 v Čechách 227 elektrických podniků a organizací a 193 elektráren. Převažoval proud stejnosměrný, dále se pak vyráběl proud jednofázový, dvoufázový a třífázový. Vznikla tudíž potřeba proud i napětí unifikovat. Proto bylo důležitým krokem po vzniku samostatného Československa sjednocení elektrických sítí, jejichž základem se stala třífázová soustava o 50 Hz s napětím 3 × 380/220 V pro místní sítě, 22 000 V v sítích přespolních a 100 000 V pro dálkový rozvod. Malé tepelné elektrárny byly brzy nahrazeny velkými jako byla například dnes již neexistující elektrárna v Ervěnicích u Mostu. Tyto elektrárny s velkými výkony se stavěly v blízkosti uhelných dolů, které je zásobovaly potřebným palivem.

Na Vltavě začala výstavba vltavské „kaskády“, jejíž první vodní průtokovou elektrárnou byla elektrárna ve Vraném (do provozu uvedena v roce 1936), poskytující výkon 12,5 MW. Další elektrárny vyrůstaly v průmyslových oblastech. Blízko velkých měst se začaly stavět místo kondenzačních elektráren i teplárny, využívající část páry odebrané z turbín k otopu bytů a továrních hal.

Elektrická energie se tak stala nejen naší každodenní samozřejmostí, ale i nutností. Život bez ní si už neumíme představit. A přitom to z pohledu historiků není tak dávno, co elektřina vykročila k našim domovům velmi nesmělými krůčky. Tehdy se psal 30. říjen 1786 a italský anatom Luigi Galvani se chystal provést pokusy s čerstvě preparovanými žabími stehýnky...

Celá dlouhá tisíciletí zůstala elektřina pro lidstvo tajemstvím. Pak během jednoho jediného století byly objeveny všechny nejdůležitější zákonitosti a lidé mohli začít s všestranným využíváním elektrické energie.

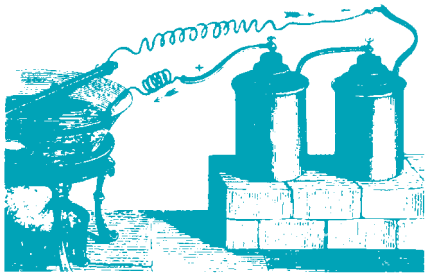
### VÝZNAMNÉ UDÁLOSTI Z HISTORIE ELEKTŘINY V 18. A 19. STOLETÍ

**1786** Pokusy se žabími stehýnky italského anatoma **Luigi Galvaniho**.

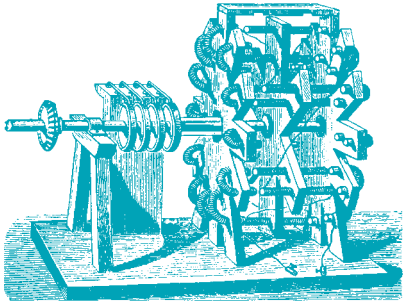
**1800** Italský fyzik **Alessandro Volta** objevil princip baterie.

**1802** Angličan **Humphry Davy** popsal elektrický oblouk.

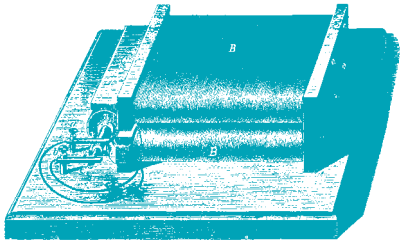
**1820** Dán **Hans Christian Oersted** jako první zjistil, že elektrický proud



1

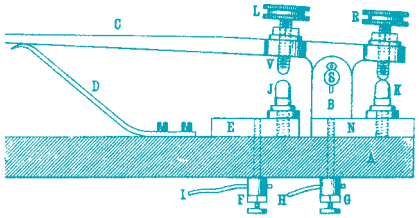


2



3

4




5

**1** objeveni principu baterie
**2** elektromotor Moritze H. Jacobiho
**3** progresivni typ dynama Wernera Siemense a Angličana Charlese Wheatstona
**4** pokládání telegrafického kabelu
**5** telegrafická abeceda umožnila praktické využití telegrafu

vychyluje magnetku a vyvolává tak elektrické pole.

**1821** Britský fyzik, chemik a velký experimentátor **Michael Faraday** sestrojil při svých pokusech s elektrickým proudem a magnetem první laboratorní elektromotor.

**1834** První provozuschopný elektromotor **Moritze H. Jacobiho**.

**1837** Angličané **William Cooke** a **Charles Wheatstone** postavili v Anglii první železniční telegrafní linku.

**1840** Americký umělecký malíř **Samuel Finley Morse** sestavil telegrafickou abecedu.

**1840** Brit **William Robert Grove** vyrobil první vakuovou žárovku se svítícím platinovým drátkem.

**1844** Francouzský fyzik **Léon Jean Foucault** zkonstruoval první elektrickou obloukovou lampu, která našla uplatnění v praxi.

**1850** Britové **James a John Brettovi** uvedli do provozu podmořský telegrafický kabel.

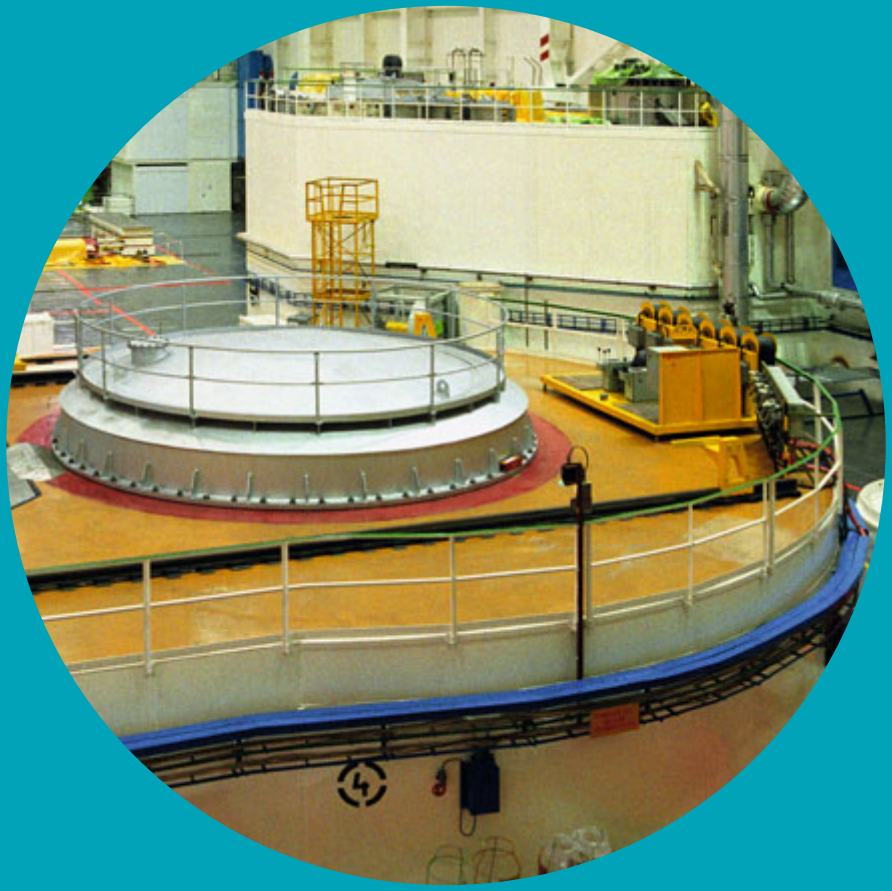
**1854** Německý fyzik **Julius Plücker** vynalezl lampu pro výboje elektřiny v plynu, pojmenovanou podle jejího výrobce **Heinricha Geisslera** Geisslerovou trubicí.

**1854** Němec **Heinrich Goebel** vyrobil v New Yorku zdokonalenou vakuovou žárovku, ke které mu ale chyběl spolehlivý zdroj proudu.

**1867** Němec **Werner Siemens** a Angličan **Charles Wheatstone** zkonstruovali nový, progresivní typ dynama. Od tohoto okamžiku bylo možné vyrábět elektrický proud elektrickými stroji. Přestože Siemens ani Wheastone své objevy ještě řadu let nedokázali využít, je tento rok považován za rozhodující mezník nástupu elektřiny do každodenního života.

**1876** Američan skotského původu **Alexander Graham Bell** zdokonaluje telefon.

**1879** **Thomas Alva Edison** sestrojil žárovku využívající zuhelnatělého bavlněného vlákna, které se podařilo prorazit cestu k elektrickému světlu.



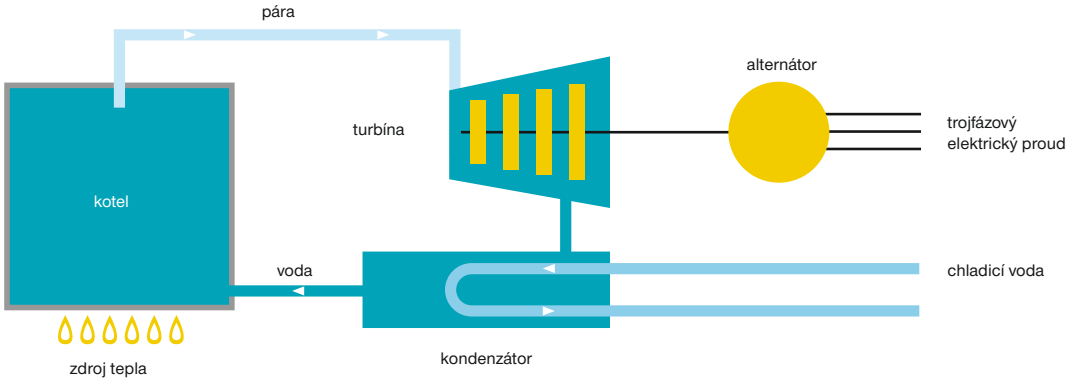



Schéma funkce spalovací tepelné elektrárny

# ELEKTRICKÉ ZDROJE

**Základem pro výrobu elektrické energie jsou přírodní zdroje energie: uhlí, ropa, plyn, uran, voda, ale také třeba sluneční záření a vítr. Na druhu přírodního zdroje energie a na místě, odkud se získává, závisí cena vyrobené elektrické energie. Způsob těžby a zpracování těchto základních zdrojů pro výrobu elektrické energie ovlivňuje i životní prostředí. V mnoha případech se elektrická energie získává z jiných druhů energie několikastupňovou přeměnou. Například u tepelných spalovacích elektráren měníme chemickou energii paliva přes energii tepelnou na energii mechanickou, ze které generátory nakonec vyrábějí energii elektrickou.**

## ELEKTRICKÁ ENERGIE

**Elektrická energie** se získává přeměnou jiného druhu energie. Pro přeměnu mechanické energie na energii elektrickou se používají **elektrické stroje**.

K výrobě elektřiny z dalších druhů energie se používají různé **články**. **Chemickou** energii na elektrickou mění články primární (galvanické nebo palivové) a sekundární (akumulátory). V článcích **fyzikálních** se elektrická energie získává z energie **světelné** – sluneční (fotoelektrické články) nebo z energie tepelné (termoelektrické články).

## ELEKTRÁRNY

Pro průmyslové potřeby a pro široké využití v dopravě a v domácnostech se elektrická energie vyrábí v elektrárnách.

V tzv. **klasických tepelných elektrárnách** se v kotli ohřívá voda, přeměňuje se v **páru** a ta uvádí do pohybu turbínu. Turbína pohání alternátor, který vyrábí elektrickou energii, jež je odváděna vedením vysokého napětí.

Teplo se v tepelných elektrárnách vytváří v kotli spalováním fosilního paliva (tuhým palivem bývá černé a hnědé uhlí, kapalným palivem je ropa, oleje, mazut, plynným palivem je zemní plyn) nebo štěpením atomů. **Jaderné elektrárny** jsou tedy také tepelnými elektrárnami a od elektráren na fosilní paliva se liší tím, že mají místo parního kotle reaktor, v němž v jaderném palivu probíhá řízená řetězová štěpná reakce. Jaderným palivem bývá přírodní uran, uran obohacený izotopem $^{235}U$ nebo plutonium.

**Vodní elektrárny** pohání voda z řek, příliv a odliv moře nebo energie mořských vln. Vodní turbíny lze spustit během několika minut. Vodní energii, která je okamžitě k dispozici, lze proto jednoduše využít při náhlém zvýšení poptávky po elektrické energii. Vodní elektrárny nejsou tak složité jako elektrárny tepelné. Nepotřebují kotelnu a mají jednodušší turbíny. Lze je ovládat i dálkově a k obsluze stačí méně zaměstnanců. Vhodně doplňují tepelné elektrárny v elektrizační soustavě. Nevýhodou je, že nemohou stát všude, ale pouze tam, kde je dostatečný spád vody nebo kde je možné v nádrži naakumulovat dostatečné množství vody. Přílivové a příbojové elektrárny, nebo dokonce elektrárny využívající mořského vlnění, lze stavět jen na příhodných místech.

Rozvíjejí se i **sluneční a větrné elektrárny**, ale z celosvětového hlediska zatím jen v zanedbatelném množství, protože sluneční a větrnou energii ještě nedokážeme dostatečně účelně využít. Sluneční a větrné elektrárny k výrobě určitého množství energie potřebují nesrovnatelně více prostoru než klasické elektrárny.

Vodní elektrárna Orlík

Hladký rotor turboalternátoru: rotorové budicí vinutí je uložené v hlubokých drážkách masívních kovaných ocelových válců. Rotorové drážky jsou uzavřené nemagnetickými klíny a zabandážované kruhy z nemagnetické oceli, takže rotor má tvar hladkého válce.

Na některých vhodných místech se staví **geotermální elektrárny**, které využívají tepla z nitra Země.

Řádově více energie z hmoty by bylo možné získat v **elektrárnách pracujících na principu jaderné fúze**. Je to však energetický zdroj, jehož využití bude prakticky možné až v budoucnu. I tady však fúze bude pouze zdrojem tepla, které se na elektřinu přemění až po několikanásobné energetické přeměně, na jejímž konci stojí elektrický stroj – generátor.

## ELEKTRICKÉ STROJE

Mechanickou energii na energii elektrickou přeměňují elektrické **generátory**. Generátory jsou elektrické točivé stroje, které pracují na základě **elektromagnetické indukce**. Mohou být synchronní, asynchronní nebo stejnosměrné. Generátor, který vyrábí střídavý proud, se nazývá alternátor. Generátor na výrobu stejnosměrného proudu **dynamo**.

### SYNCHRONNÍ ALTERNÁTOR

Synchronní alternátor je elektrický točivý stroj, který mění mechanickou energii v energii elektrickou při využití točivého magnetického pole. Je zdrojem střídavého proudu. Dnes trojfázové synchronní alternátory představují hlavní zdroje elektrické energie v elektrárnách.

Základními částmi alternátoru jsou nepohyblivý **stator** a na hřídeli se otáčející **rotor**. Synchronní alternátor má na statoru trojfázové vinutí a na rotoru tzv. **budicí vinutí**. Jestliže turbína nebo jiný pohon otáčí rotorem a v jeho budicím vinutí prochází stejnosměrný proud, vzniká točivé magnetické pole, které v trojfázovém vinutí statoru vyvolá (indukuje) trojfázové střídavé napětí. Druhé točivé magnetické pole vyvolá střídavý proud, který začne procházet trojfázovým vinutím statoru při připojení alternátoru ke spotřebiči. Stroj se nazývá synchronní, protože se obě točivá magnetická pole otáčejí se stejnými otáčkami (tj. synchronně).

Alternátory se podle zařízení, které je pohání, dělí na turboalternátory, hydroalternátory a alternátory poháněné spalovacími motory.

**Turboalternátory** pracují v tepelných elektrárnách a pohánějí je parní nebo plynové turbíny. Mají vodorovný hřídel a jsou to rychloběžné stroje s otáčkami 3 000/min.

**Hydroalternátory** najdeme ve vodních elektrárnách ve spojení s vodními turbínami. Jejich otáčky se pohybují od stovek do tisíců otáček za minutu. Výkon hydroalternátorů záleží na množství vody a výšce vodního spádu. Většinou bývají postaveny se svislými hřídeli.

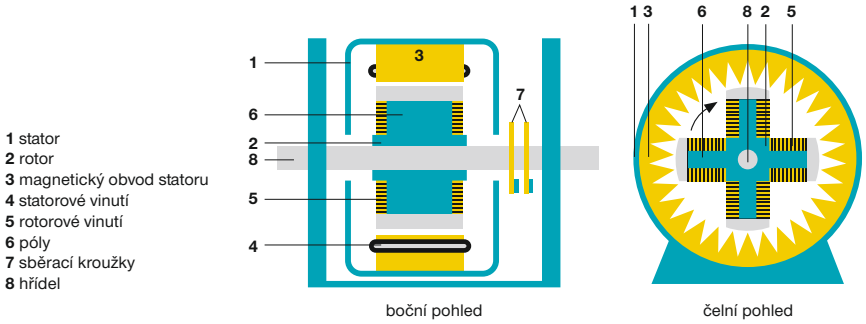
**Alternátory poháněné spalovacími motory** jsou pomaluběžné stroje s velkým průměrem a malou délkou rotoru. Rotor pracuje většinou i jako setrvačník, aby vyrovnával nerovnoměrnosti způsobené chodem pístových motorů.

### KONSTRUKCE SYNCHRONNÍHO ALTERNÁTORU

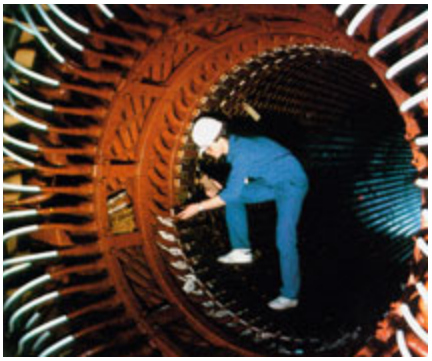
Ve statoru alternátoru, který se podobá dutému válci, je magnetický obvod složený z plechů. Plechy se izolují lakem nebo zvláštním druhem papíru. Jsou v nich vytvořeny chladicí kanály, kudy vzduch nebo jiný plyn odvádí z magnetického obvodu teplo. Na vnitřním obvodu plechů jsou drážky s měděnými vodiči, které vytvářejí trojfázové vinutí. Začátky vinutí jsou připojeny na svorky alternátoru, odkud se střídavý elektrický proud odebírá a vede se do rozvodny a dále ke spotřebitelům. Konce vinutí jsou spojeny do uzlu. Jednotlivé vodiče jsou izolovány.

Podle konstrukce rotoru se synchronní stroje dělí na stroje s vyniklými póly a na stroje s hladkým rotorem.

**Hladký rotor** se používá u turboalternátorů, protože při otáčkách 3 000/min dochází ke značným odstředivým silám. Kvůli velkému magnetickému odporu vzduchu je




Konstrukce synchronního stroje



Stator turboalternátoru při montáži

vzduchová mezera mezi rotorem a statorem velmi malá (milimetry). Rotor je vyroben z jednoho kusu oceli a má tvar hladkého válce s podélnými drážkami po obvodu. Ty zaujímají asi dvě třetiny obvodu a jsou souměrně rozloženy. Průměr rotoru turboalternátoru je maximálně 1 m. V drážkách je uloženo budicí vinutí, které je napájeno stejnosměrným proudem. Rotor turboalternátoru je obvykle dvoupólový.

U hydroalternátorů se používá **rotor s vyniklými póly**. Proti rotoru turboalternátoru má velký průměr a malou délku, protože hydroalternátor je pomaluběžný stroj. Na hřídeli rotoru je připevněno magnetové kolo s příslušným počtem pólů (4 až 80), které se často skládají z plechů. Na jádře každého pólu je umístěna cívka budicího vinutí, do níž se přivádí stejnosměrný proud. Budicí cívky jsou spojeny tak, aby střídavě vznikaly severní a jižní póly. Konstrukce jeho statoru se liší od turboalternátoru pouze velkým průměrem a malou délkou.

Budicí vinutí jsou připojena ke sběracím kroužkům, které jsou upevněny na hřídeli rotoru. Na kroužky dosedají kartáče, jimiž se do budicího vinutí přivádí stejnosměrný budicí proud z budiče, jenž zde vytváří stejnosměrné magnetické pole.

Velké hydroalternátory mívají na rotoru ještě **tlumič**, který při nárazových zatíženích alternátoru zamezuje tzv. kývání rotoru. Póly tlumiče jsou vždy z plechů a jeho vinutí se vyrábí z měděných nebo bronzových tyčí.

Pro funkci synchronního alternátoru je nezbytný budič, který napájí budicí vinutí stejnosměrným proudem, jenž vyvolá magnetické pole rotoru. Jako **budič** se používá polovodičový usměrňovač nebo dynamo, často umístěné na hřídeli alternátoru.

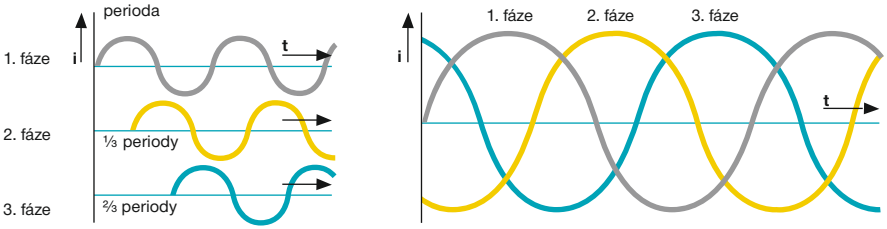
Při chodu alternátoru vzniká teplo. Chlazení stroje zlepšuje spolehlivost, zvyšuje životnost a umožňuje menší rozměry stroje. U menších alternátorů se používá chlazení vzduchem, u větších kapalinou (většinou destilovanou vodou).

Když rotorovým vinutím prochází budicí (stejnosměrný) proud, vznikne v rotoru magnetické pole. Protože se rotor poháněný turbínou otáčí, magnetické pole rotoru protíná statorové vinutí a indukuje v něm napětí. Na svorkách alternátoru se objeví střídavé trojfázové napětí. Statorovým vinutím neprochází proud a alternátor pracuje naprázdno. Připojíme-li k alternátoru nějaký spotřebič, začne statorovým vinutím procházet proud a vznikne točivé magnetické pole. Alternátor pracuje při zatížení.

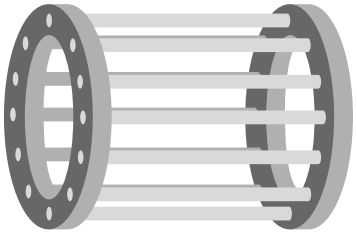
Alternátor má vyrábět střídavé napětí a proud s frekvencí 50 Hz. Proto rotor dvoupólového stroje udělá každou sekundu padesát otáček, za minutu má tedy 50. 60 = 3 000 otáček. Jestliže má rotor 4 póly, stačí polovina otáček.

Protože do společné elektrické sítě dodává elektrickou energii několik elektráren současně, je třeba alternátory těchto elektráren připojit k síti tak, aby nedocházelo k potížím. Musí se připojit **paralelně**, což znamená, že alternátor musí mít se sítí stejné napětí, stejnou frekvenci, obě napětí musejí být „ve fázi“ (v každém okamžiku musejí být napětí stejné fáze sítě a alternátoru shodná, aby nedocházelo k proudovému nárazu při připojení alternátoru k síti) a stejný sled fází (malý asynchronní trojfázový motor se po připojení na síť i k alternátoru musí otáčet ve stejném směru). V elektrické síti musí být stále konstantní napětí. Shodnost napětí sítě a alternátoru se zajistí změnou budicího proudu alternátoru. Rovnosti frekvencí se dosáhne regulací přívodu mechanické energie k turbíně, protože frekvence alternátoru závisí na jeho otáčkách.

Po splnění všech podmínek lze alternátor připojit („přifázovat“) k síti. Přifázování se provádí automatickými zařízeními, která ve vhodné chvíli sama alternátor k síti připojí. **Přifázovaný alternátor běží naprázdno**. To znamená, že do sítě nedodává žádný výkon, jeho statorovým vinutím neprochází proud. Teprve zvětšíme-li množství přiváděné mechanické energie do turbíny, alternátor začne dodávat do sítě požadovanou




Graf třífázového proudu



Vinutí rotoru asynchronního stroje nakrátko (někdy se nazývá klecové vinutí)

elektrickou energii. Při zvýšení budicího proudu alternátor dodává do sítě tzv. **jalový výkon**, který zlepšuje kvalitu a stabilitu sítě.

## ZVLÁŠTNÍ SYNCHRONNÍ ALTERNÁTORY

Existují i zvláštní typy synchronních alternátorů. Například pro vyšší frekvence se používá **zubový alternátor**. Slouží často k napájení vysokofrekvenčních pecí. Budicí cívka je uložena ve statoru. Rotor nemá žádné vinutí a na jeho obvodu jsou zuby. Při otáčení rotoru vzniká napětí s frekvencí úměrnou počtu zubů a otáčkám.

**Malé alternátory** pro jízdní kola nebo mačkací ruční svítilny mají na statoru magnetický materiál trvale zmagnetovaný tak, aby vytvářel jednotlivé póly. V rotoru je navinuta jen jedna cívka. Drobné alternátory s trvalými magnety nepotřebují budič. Pro větší alternátory se trvalé magnety nehodí kvůli obtížnému řízení svorkového napětí a magnetického pole.

## ASYNCHRONNÍ ALTERNÁTOR

Pro výrobu elektrické energie se dnes asynchronní alternátory používají pouze výjimečně v malých automatizovaných vodních elektrárnách.

Stator asynchronního generátoru je složen z plechů s drážkami, ve kterých je trojfázové vinutí. Podle rotoru se asynchronní stroje dělí na stroje nakrátko a kroužkové. Rotor asynchronního stroje **nakrátko** je složený z plechů a v drážkách má klecové vinutí, spojené právě nakrátko. Rotor **kroužkového** stroje (nepoužívají se u alternátorů) se od rotoru stroje nakrátko liší trojfázovým vinutím zapojeným do hvězdy a sběracím ústrojím (kroužky a uhlíkové kartáče).

Jestliže turbína zvýší rychlost otáčení rotoru asynchronního stroje nad synchronní otáčky, rotor předbíhá točivé magnetické pole a alternátor dodává elektrickou energii do sítě. Množství dodávané energie tak závisí na průtoku vody (výkonu turbíny).

Například u výtahů pracují asynchronní motory, které se při jízdě dolů, při brždění, mohou stát asynchronními generátory a vracet energii zpět do sítě.

Výhodou asynchronního generátoru je jednoduchá konstrukce u stroje nakrátko, spolehlivost při provozu a stálé otáčky (proto turbína nepotřebuje regulátor otáček).

## DYNAMO

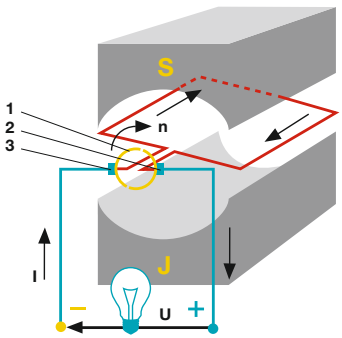
Stejnosměrné stroje jsou nejstarším druhem elektrických strojů.

V roce 1831 britský fyzik **Michael Faraday** (1791–1867) předvedl na přednášce v Královské společnosti v Londýně vůbec první princip dynama v historii. O půl století později v roce 1881 ohromil elektrotechnický svět na výstavě v Paříži americký vynálezce **Thomas Alva Edison** (1847–1931) svým dynamem, které nazval „Jumbo“. Edisonovo dynamo dodávalo proud pro 2 000 žárovek a ve své době bylo největší na světě. I s parním strojem, který dynamo poháněl, vážilo 27 tun. Za následujících padesát let hmotnost dynam o odpovídajícím výkonu klesla na 5 tun.

Velkou výhodou stejnosměrných strojů je snadné řízení otáček. Dynamo je název pro **stejnosměrný generátor**. I zde se mění mechanická energie na elektrickou. Mechanickou energii dodává vodní či parní turbína v elektrárně nebo spalovací motor, ale i lidská síla třeba u dynama na jízdním kole. Každý stejnosměrný stroj může pracovat jako dynamo nebo jako motor. Proto se dynama používají v průmyslových pohonech a v elektrické trakci (v dopravě). Dynama najdeme například u dieselelektrických lokomotiv, kde napájejí hnací stejnosměrné motory. Stále méně se používají u automobilů jako zdroje stejnosměrného proudu a jejich využití jako budičů také klesá.

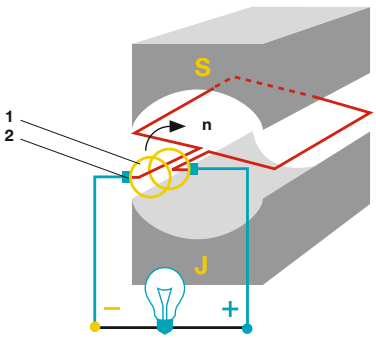
## PRINCIP ČINNOSTI A KONSTRUKCE DYNAMA

Činnost dynama je rovněž založena na elektromagnetické indukci. Budicí proud



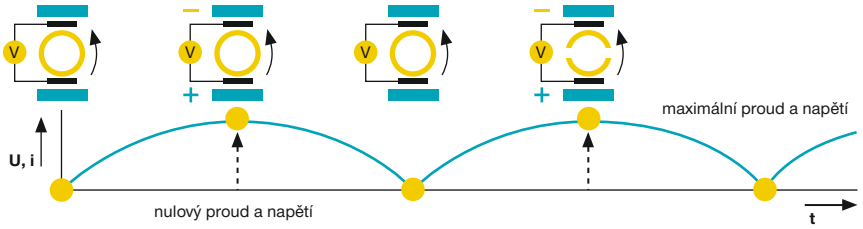

**S** severní pól
**J** jižní pól
**I** stejnosměrný proud
**U** stejnosměrné napětí
**n** otáčky závitu
**1** lamela
**2** kladný kartáč
**3** záporný kartáč

Princip komutace




**1** sběrací kroužky
**2** kartáčový kontakt

Generátor střídavého proudu




Činnost komutátoru dynama

ve statorovém vinutí vyvolá ve statoru magnetický tok. Ve vinutí rotoru se při jeho otáčení v magnetickém poli indukuje střídavé napětí, které se **komutátorem**, upevněným na hřídeli rotoru, mění na napětí stejnosměrné. Z komutátoru se stejnosměrné napětí odvádí **kartáči** na svorkovnici stroje, odkud se odebírá potřebný elektrický proud.

**Stator** dynama bývá vyroben z magneticky měkké oceli nebo je složen z elektrotechnických plechů. Ke statoru se upevňují hlavní a pomocné póly a většinou i sběrací ústrojí. Moderní stroje mají hlavní i pomocné póly složeny z plechů. Na jádrech hlavních pólů jsou nasazeny cívky budicího vinutí, které jsou napájeny stejnosměrným proudem. Polarity hlavních pólů se po obvodu statoru střídají, takže za severním pólem následuje vždy pól jižní, pak severní, jižní atd.

**Rotor** se z důvodu zmenšení ztrát vyrábí z elektrotechnických izolovaných plechů tloušťky 0,5 mm. Má tvar válce a na svém hřídeli má umístěn komutátor. Vývody cívek rotorového vinutí, které je uloženo v drážkách rotoru, jsou připájeny k lamelám komutátoru.

Komutátor je zařízení, které slouží k přepojení vodiče z jednoho kartáče na jiný a má funkci **usměrňovače**, protože střídavé napětí indukované v rotorovém vinutí mění na stejnosměrné napětí. Skládá se z několika vzájemně izolovaných měděných lamel.

Ke každé lamele vedou vodiče dvou různých cívek. Celé vinutí rotoru je přes komutátor propojeno. Čím více lamel komutátor má, tím je výstupní stejnosměrné napětí stabilnější (tím je méně zvlněné).

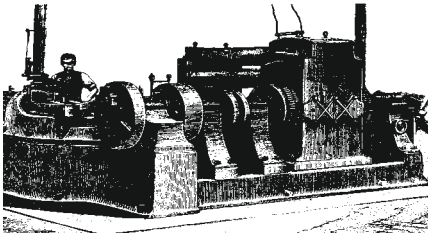
Sběrací ústrojí převádí proud mezi vnějším obvodem a vinutím rotoru. Uhlíkové kartáče dosedají na lamely komutátoru. Jsou upevněny v držácích, které umožňují nastavení správné polohy. Kartáčů je tolik, kolik má dynamo hlavních pólů.

## KOMUTACE

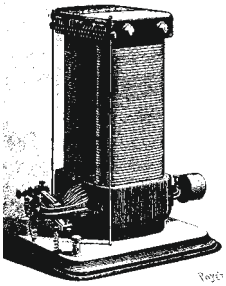
V magnetickém poli se otáčí závit a v něm se indukuje napětí. Připojíme-li závit ke dvěma polovinám kroužku (lamelám), u kterých jsou připojeny kartáče, získáme **stejnosměrný proud**. Kartáče se nepohybují a záporný kartáč je stále spojen s vodičem, který prochází pod severním pólem. Kladný kartáč je neustále připojen k vodiči procházejícímu pod jižním pólem. Následkem toho tedy od kartáčů prochází proud stále stejným směrem. Získáváme stejnosměrný proud. Při komutaci dochází v cívce ke změně směru proudu (následek otáčení rotoru). Pro zlepšení komutace se mezi hlavní póly ještě umisťují úzké pomocné póly s komutačním vinutím.

## DRUHY DYNAM

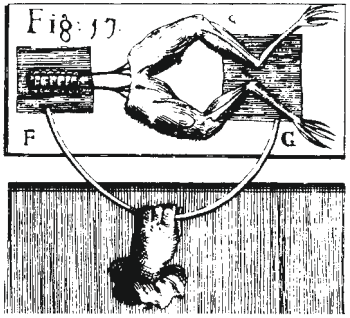
První dynama kolem roku 1850 používala **trvalé magnety** ve tvaru podkovy. Moderní dynama mají **elektromagnety**. Podle druhu a zapojení budicího vinutí se rozlišují dynama s cizím buzením a s vlastním



Velké Edisonovo dynamo



Dynamo z počátku 20. století. Svými parametry (stejnosměrný proud asi 10 A o napětí 50 V) bylo určeno pro využití v domácnosti.




Galvaniho „živočišná“ elektřina

(paralelním, sériovým a smíšeným) buzením. **Vlastní buzení** dynam, kdy je proud do vinutí statoru přiváděn z vlastních svorek stroje, umožňuje zbytkový (remanentní) magnetismus, jenž vyvolá malé indukované napětí potřebné ke vzniku proudu.

Budicí vinutí hlavních pólů dynama s **cizím buzením** se napájí z cizího zdroje (baterie, jiné dynamo, usměrňovač). Dynamo s cizím buzením je zdroj, který umožňuje řídit napětí v širokém rozsahu, výhodou je i malý pokles napětí při zatížení. Nevýhodou je, že potřebuje pomocný zdroj napětí. Používá se například v řídicích obvodech, k napájení velkých motorů u těžních nebo válcovacích zařízení.

Dynamo s **paralelním** buzením má budicí vinutí připojené paralelně k rotorovému vinutí. Nepotřebuje cizí zdroj napětí, snadno se řídí jeho napětí a je odolné proti zkratu. Proto se tato dynama používají nejčastěji.

Budicí vinutí dynama se **sériovým** buzením má všechna vinutí spojena do série. Jako vlastní zdroj se nepoužívá, ale vyskytuje se v elektrické trakci (např. tramvaje), kde při brzdění stejnosměrné motory pracují jako dynama se sériovým buzením a při jízdě ze svahu mění získanou energii na energii elektrickou, která se vrací do sítě.

U dynama se **smíšeným** buzením se kombinuje sériové buzení s paralelním nebo cizím buzením. Používá se jako samostatný zdroj stejnosměrného napětí, jako svařovací dynamo u svářeček pro obloukové svařování, nebo pro speciální účely.

Zvláštním druhem dynama je **tachodynamo**, které slouží k měření otáček. Je to malé dynamo s permanentními (stálými) magnety a řidčeji s cizím buzením. Hřídel tachodynama se spojí s otáčející se součástí a jeho rotor se otáčí v magnetickém poli permanentních magnetů. V rotoru se indukuje napětí úměrné otáčkám, které měří připojený voltmetr kalibrovaný (nastavený) na měření otáček.

## ELEKTROCHEMICKÉ ČLÁNKY

Italský přírodovědec a lékař **Luigi Galvani** (1737–1798) při pitvání žab zpozoroval (vlastně první si toho všimla jeho žena), že sebou žabí stehýnka položená na plechu při dotyku operačního nože škubají. V letech 1780 až 1790 provedl Galvani mnoho pokusů s žabími stehýnky. Mylně se domníval, že cukání žabích stehýnek způsobuje „živočišná“ elektřina.

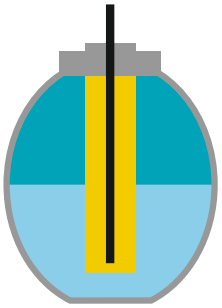
Na pokusy Luigi Galvaniho navázal jiný italský fyzik **Alessandro Volta** (1745–1827). Zjistil, že jevy, které pozoroval Galvani, způsobuje dotyk dvou různých kovů oddělených vlhkou látkou. Svůj objev zveřejnil roku 1800 v Londýně.

Alessandro Volta sestrojil první elektrický článek a na Galvaniho počest nazval vyráběný proud proudem galvanickým. Odtud pochází i název pro dnešní **galvanické články**.

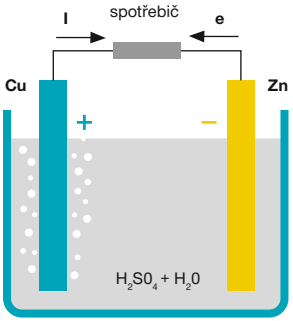
Ovšem první elektrický článek možná fungoval o mnoho století dříve. V jednom bagdádském muzeu je uchováván elektrický článek z období parthské říše (250 př. n. l. až 224 n. l.). V nádobě z pálené hlíny asi 18 cm vysoké je umístěn 10 cm vysoký válec z měděného plechu. Železná tyčinka provlečená víčkem válce je ode dna i od víčka měděného válce izolována asfaltem. Někteří vědci se domnívají, že jako elektrolyt pravděpodobně sloužila vymačkaná šťáva z hroznů. Tento zdroj stejnosměrného proudu se mohl používat ke galvanickému pozlacování různých měděných nebo stříbrných nádob, šperků a jiných předmětů.

### ELEKTROLYTY

Elektrolyt je kapalina, ve které dochází ke štěpení molekul na ionty – záporné anionty a kladné kationty. K rozkladu elektrolytu dochází účinkem stejnosměrného proudu. Elektrické pole mezi elektrodami připojenými ke zdroji napětí způsobí, že



Znali galvanické články skutečně již před počátkem našeho letopočtu?




**Cu** měděná elektroda
**Zn** zinková elektroda,
**I** proud
**e** směr elektronů

Princip galvanického článku

Historický elektrický článek – proslulý Voltův sloup. Sloupec stříbrných a zinkových kotoučů umístěných na sobě a proložených stejně velkými kotouči vlhké plsti.

se **anionty** pohybují k anodě (kladná elektroda) a **kationty** přitahuje katoda (záporná elektroda). Elektrickou vodivost elektrolytu způsobuje uspořádaný pohyb iontů. V elektrolytu se vytváří rovnováha kladných a záporných iontů a elektrolyt navenek působí jako elektricky neutrální.

Po dopadu na zápornou elektrodu si z ní kationty doplní chybějící elektrony a vznikne **neutrální atom**. Anionty při dopadu na anodu svůj náboj odevzdávají. Neutrální částice uvolněné na elektrodách neustále reagují mezi sebou, s elektrolytem nebo i s elektrodami. Elektrolyt má tzv. **iontovou vodivost**, která umožňuje, že v elektrickém poli mezi elektrodami v elektrolytu prochází proud.

## GALVANICKÉ ČLÁNKY

Galvanické články využívají chemickou reakci, při níž se uvolňuje energie ve formě elektrického pole. Při chemické reakci má molekula nově vzniklé sloučeniny menší energii než součet energií částí, z nichž vznikla.

Galvanických článků existuje mnoho druhů. Některé se dají opakovaně nabíjet, protože elektrochemické děje, které v nich probíhají, jsou vratné.

Původní články byly **mokré** – s tekutým elektrolytem. Dnes se nejvíce používají **suché** články, jež mají mezi elektrodami pórovitou hmotu nasycenou elektrolytem. Montáž suchých článků je velmi jednoduchá. Suché články by se vlastně měly označovat jako vlhké, protože úplně bez vody by elektrolyt nepůsobil.

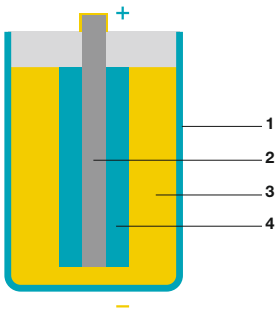
Nejjednodušší galvanický článek se skládá z **elektrolytu** a dvou **elektrod**. Jako elektrolyt se používá kyselina sírová ($H_2SO_4$). Kladná elektroda je z mědi (Cu) a záporná ze zinku (Zn). Při zředění kyseliny sírové vodou ($H_2O$) uvolňují molekuly vody pevnou vazbu molekul kyseliny sírové, která se rozštěpí na kladné a záporné ionty. Mezi náboji je ale rovnováha a elektrolyt zůstává elektricky neutrální.

Při ponoření zinkové elektrody do elektrolytu se začne zinek rozpouštět a jeho kationty nabijí elektrolyt kladně. Na elektrodě zůstanou volné elektrony a elektroda se nabije záporně. Měď se v roztoku kyseliny sírové rozpouští méně než zinek. Mezi kladnou a zápornou elektrodou se objeví napětí 1,05 V.

Jestliže na svorky galvanického článku připojíme spotřebič, poruší se rovnovážný stav, elektrony se přes spotřebič odvádějí ze zinkové elektrody na elektrodu měděnou a vodík se vylučuje na kladné elektrodě nebo uniká z elektrolytu. Tím je porušena rovnováha mezi ionty a vzniká síran zinečnatý, který se usazuje v nádobě galvanického článku. Protože tak v roztoku ubývají ionty zinku, dochází k novému rozpouštění zinkové elektrody. Poněvadž vodík, vyloučený na kladné elektrodě, by se opět slučoval a snižovalo by se napětí článku, odstraňuje se tento nepříznivý jev depolarizátorem, kterým se elektroda obalí. Depolarizátor je látka bohatá na kyslík, jenž váže vodík za vzniku vody.

Nejpoužívanějšími jsou suché Leclanchéovy články. Kladná elektroda, kterou tvoří uhlíková tyčinka, je umístěna v sáčku s depolarizátorem. Depolarizátor tvoří směs oxidu manganičitého s grafitem a slouží k odstranění účinků vodíku, jenž se vylučuje na uhlíkové elektrodě. Vodík je izolant, a kdyby pokryl anodu, narušil by funkci článku. Zápornou elektrodu tvoří zinková nádoba. Elektrolytem je chlorid amonný zahuštěný pastou, aby se neroztékal.

V Leclanchéově článku probíhá nevratný děj, proto se nedá nabíjet. Výhodou Leclanchéova článku je nízká výrobní cena a jednoduchá konstrukce. Jeho svorkové napětí je 1,5 V.




**1** záporná (–) zinková elektroda
**2** kladná (+) uhlíková elektroda
**3** zahuštěný elektrolyt
**4** depolarizátor

Suchý Leclanchéův článek

Skupina ČEZ testuje v provozu elektromobil Peugeot iOn

Galvanické články patří mezi **primární** články – můžeme z nich elektrický proud odebírat, aniž jsme jim ho předtím „dodali“. Jednotlivé druhy jsou založeny na různých elektrochemických systémech. Výkonnější, ale také dražší než Léclanchéovy články jsou alkalické a rtuťové články. Galvanické články mohou mít válcové, ploché i hranaté tvary. Použití galvanických článků je velice široké, například v kapesních svítilnách (monočlánky, tužkové a ploché baterie), rozhlasových přístrojích, elektrických zvoncích, přenosných vysílačích a přijímačích, drobných přístrojích (elektrické hračky, holicí strojky, vrtačky, elektrické hodiny) atd.

## PALIVOVÉ ČLÁNKY

Dalším druhem primárních článků jsou perspektivní **palivové** články. Oxidací („spalováním“) chemických látek se u nich chemická energie mění na energii elektrickou. Obdobně jako u galvanických článků tedy i zde probíhají chemické reakce, ale rozdíl je v tom, že se k jedné elektrodě přivádí palivo (např. vodík) a ke druhé okysličovadlo (např. kyslík). Během provozu lze u palivových článků palivo doplňovat, takže mohou pracovat trvale. Klasický palivový článek je kyslíko-vodíkový článek, který má dvě pórovité platinové elektrody, mezi nimiž je elektrolyt. Napětí článku je asi 1,1 až 1,23 V. Palivové články se používají např. v elektromobilech.

U primárních článků po doznění chemického pochodu jsou aktivní hmoty znehodnoceny.

## AKUMULÁTORY

Má-li molekula nově vzniklé sloučeniny větší energii než její složky, musí se – aby chemická reakce proběhla – do systému nejprve energie dodat. Vznikne chemicky nestabilní sloučenina, jež se za určitých podmínek rozpadá a uvolňuje svou energii. Tímto způsobem se může energie určitou dobu „skladovat“ – **akumulovat**. Tento jev se využívá v akumulátorech.

U akumulátorů rozpadem účinné chemické látky vzniká napětí. Tato chemická látka se vytváří na elektrodách při nabíjení akumulátorů. Nejčastěji se používají olověné, niklkadmiové a oceloniklové akumulátory.

Olověné akumulátory mají obě elektrody z olova. Kladnou elektrodu u nabitého akumulátoru pokrývá vrstva kysličníku olovičitého.

Nádoba olověného akumulátoru bývá z tvrzené pryže, plastu nebo ze skla. Elektrolytem je kyselina sírová, která se ředí destilovanou vodou. Kladné elektrody mají tvar mříží a jsou vyplněny pastou nebo jsou žebrované. Nejmodernější akumulátory používají jako kladné elektrody trubkové desky, které mají až pětkrát vyšší životnost.

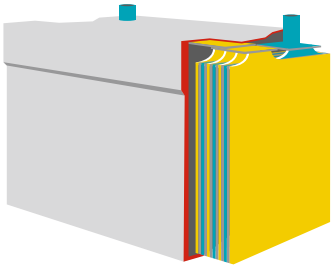
Okolo kladných elektrod jsou umístěny elektrody záporné, kterých je tedy o jednu více než elektrod kladných. Kladné a záporné elektrody jsou od sebe odděleny izolačními vložkami.

Napětí jednoho olověného akumulačního článku bývá 1,85 až 2,1 V. Jestliže napětí článku klesne pod hodnotu 1,85 V, začíná nevratný pochod vytváření nerozpustného síranu olovnatého, který akumulátor znehodnotí. Aby se tomu zabránilo, je potřeba při poklesu napětí na hodnotu 1,85 V akumulátor ihned nabít. Olověné akumulátory vydrží asi 300 nabíjecích cyklů. Používají se v motorových vozidlech, najdete je prakticky v každém automobilu.

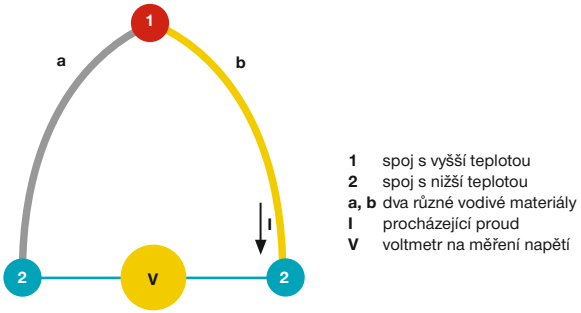
Alkalické akumulátory používají jako elektrolyt hydroxid draselný s přísadou, zředěný destilovanou vodou.

Oceloniklové i niklkadmiové akumulátory jsou alkalické akumulátory. V porovnání s olověnými akumulátory jsou asi čtyřikrát dražší. Jejich elektrolyt mrzne až při –60 °C a po rozmrazení je akumulátor opět schopen činnosti. Mají nižší napětí (1,1 až 1,8 V), delší životnost a vyžadují menší nároky na údržbu. Používají se např. v akumulátorových vozících.

Při nabíjení akumulátorů (všech typů) je vždy nutné otevřít jejich zátky, aby se vznika-



Olověný akumulátor




**1** spoj s vyšší teplotou
**2** spoj s nižší teplotou
**a, b** dva různé vodivé materiály
**I** procházející proud
**V** voltmetr na měření napětí

Princip termoelektrického článku

jící vodík, který se vzduchem tvoří třaskavou směs, dostal ven.

Speciální **stříbrozinkové akumulátory** dobře snášejí zkraty a mechanické otřesy a jsou mimořádně lehké. Jsou ovšem drahé, a proto se používají jen v letectví, u závodních automobilů, ve sdělovací technice a v dalších speciálních případech. **Stříbrokadmiové akumulátory** mají obdobné provedení jako akumulátory stříbrozinkové, ale vyznačují se navíc dlouhou životností.

Akumulátory se používají jako startovací baterie motorových vozidel, u akumulátorových nákladních vozíků, elektromobilů, v telefonních ústřednách, v elektrické trakci, pro nouzová osvětlení, pro přenosné svítilny i ke stálému osvětlování atd. Dají se vyrábět i v malých rozměrech a vzduchotěsně uzavřené. Jejich tvary mohou být válcové, ploché i hranaté. Mají dlouhou životnost a používají se i do přenosných zařízení (hračky, radiopřijímače, fotografické blesky ap.).

Akumulátorové články jsou články **sekundární**. Při nabíjení proudem z jiného zdroje se aktivují činné hmoty článku tak, že lze později chemicky vyvolat jejich vybíjení, při kterém se získává elektrická energie. Jde o vratný, opakovatelný elektrochemický pochod.

## TERMOELEKTRICKÉ ČLÁNKY

Při spojení dvou elektrických vodičů z různých materiálů do uzavřeného obvodu a udržování jednoho spoje na vyšší teplotě prochází obvodem elektrický proud. Na principu tohoto tzv. **termoelektrického jevu**, který závisí na druhu materiálů vodičů a na rozdílu teplot spojů, pracují termoelektrické články, kterým se také říká **termočlánky**.

Při spojení kovových vodičů a rozdílu teplot asi 100 °C vznikají pouze velmi malá termoelektrická napětí (milivolty). Rozvojem polovodičové techniky se dosahuje stokrát vyšších termoelektrických napětí, než s kovovými vodiči.

Polovodičový termoelektrický článek má dvě části z různě zpracovaného polovodičového materiálu, které jsou spojeny kovem. Sériovým řazením většího počtu termoelektrických článků vznikají **termoelektrické baterie**. Význam termoelektrických článků stoupá s využitím tepelné sluneční energie. Lze jich využívat i u snímačů, pro měření teploty v extrémních prostředích, pro chlazení atd.

## FOTOELEKTRICKÉ ČLÁNKY

Sluneční záření obsahuje obrovské množství energie. Jednou z cest, jak tuto energii využívat, je přeměna slunečního záření na elektrickou energii v polovodičových slunečních článcích, kterým se říká fotoelektrické nebo fotovoltaické články nebo **fotočlánky**.

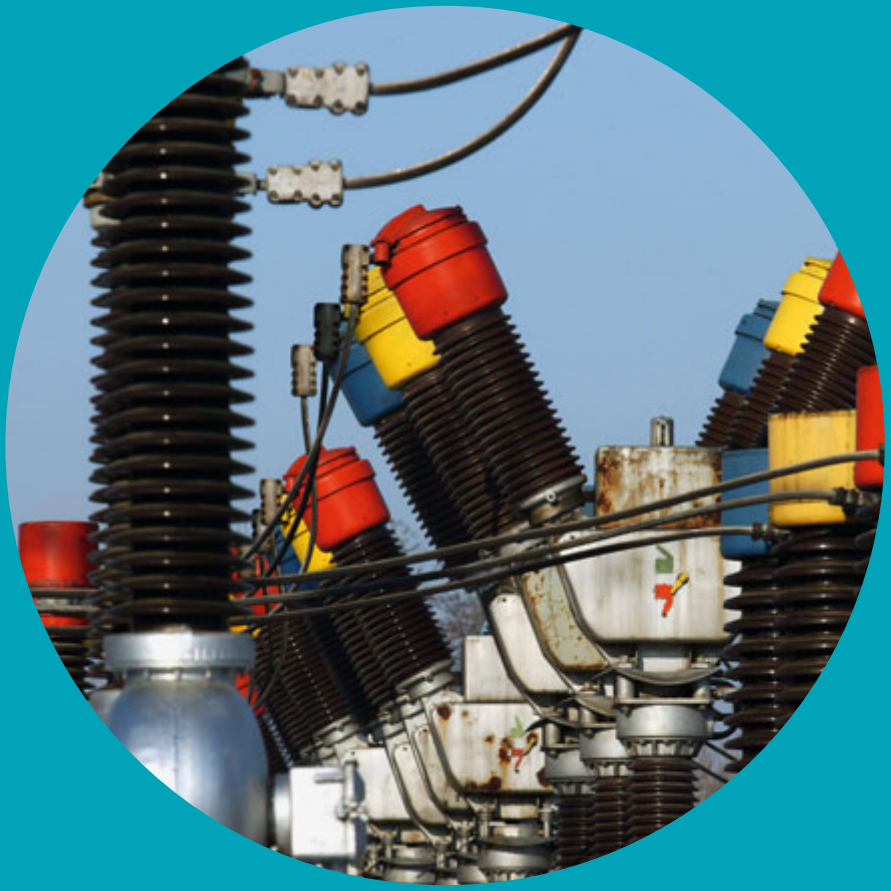
Při dopadu světla na polovodičovou destičku se oddělí nosiče kladných a záporných elektrických nábojů (díry a elektrony) a polovodič se stane vodivým. Když se k polovodiči připojí elektrické pole, rozdělí se kladné a záporné náboje podle své polarity. Při připojení takového polovodiče ke spotřebiči začne procházet fotoelektrický proud.

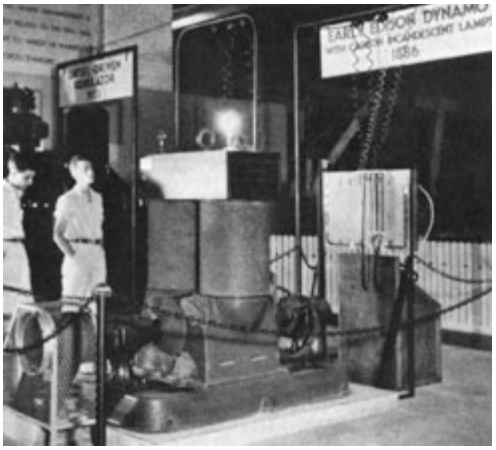
Elektrické pole vzniká připojením cizího zdroje napětí nebo se vytvoří v polovodičovém článku v místě přechodu polovodiče s vodivostí typu P na polovodič s vodivostí typu N. Elektrické pole způsobí, že se záporné elektrony dostanou do polovodiče typu N a kladné díry do polovodiče typu P a vzniká tak fotoelektrický článek.

Sluneční fotoelektrický článek bývá vyroben z polovodičové vrstvy (z křemíku) typu N, na jehož povrchu je vytvořena velmi tenká vrstva polovodiče typu P.

Při osvětlení destičky dostaneme napětí jen o málo vyšší než 0,5 V a proud v desítkách miliampér. Jestliže chceme získat vyšší napětí nebo proud, spojují se fotoelektrické články do série nebo paralelně a tím vznikají tzv. **sluneční baterie**.

Rozmach fotoelektrických článků nastal s rozvojem letů do vesmíru.





Edisonovo dynamo

# DRÁTĚNÉ CESTY

**Dnes už si život bez elektrické energie nedokážeme vůbec představit. Abychom ji mohli všeobecně využívat v domácnostech, továrnách, školách, ústavech nebo v nemocnicích, potřebujeme ji nejen vyrobit, ale k odběratelům i dopravit. K tomu slouží celá řada rozvodných a přenosových zařízení. Elektrizační soustavu tvoří zařízení pro výrobu, rozvod a spotřebu elektrické energie. Elektrickým vedením rozumíme vodivé spojení pro přenos elektrické energie. Elektrická síť je souhrn všech vodivě spojených částí vedení a stanic téhož napětí určený k přenosu, přeměně a rozvodu elektrické energie. První vedení bylo se stejnosměrným proudem. Snadná možnost transformovat střídavý proud pomocí levného zařízení vedla k zavedení tohoto proudu do elektrizačních soustav celého světa. Budoucnost může ale zase patřit stejnosměrnému proudu.**

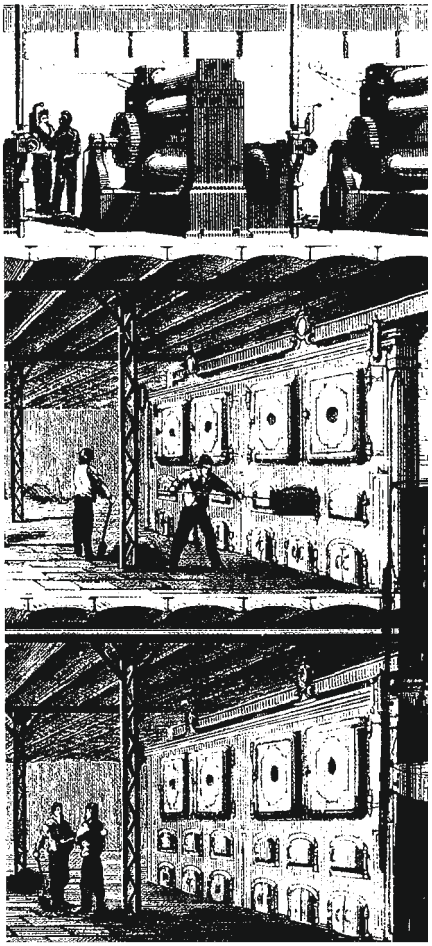
## U POČÁTKŮ ROZVODU ELEKTŘINY BYL EDISON

První, kdo se rozhodl vyrábět elektrickou energii ve velkém a pomocí kabelů ji rozvádět a prodávat továrnám, úřadům i domácnostem, byl americký vynálezce a podnikatel **Tomáš Alva Edison**. Edison, přestože patří mezi nejvýznamnější světové vynálezce, byl vlastně technický samouk. Narodil se 11. února 1847 v městě Milan v americkém Ohiu. Už v devíti letech občas po škole pracoval u telegrafní společnosti. V jedenadvaceti letech přihlásil svůj první patent na zlepšení telegrafu, který mu vynesl částku 40 000 dolarů. Ta mu stačila na zřízení továrny v Newarku. Psal se rok 1870... Později zkonstruoval ve svých výzkumných laboratořích uhlíkový mikrofon pro telefon, první fonograf a roku 1879 vyvinul první žárovku s uhlíkovým vláknem, paticí se závitem a dlouhou životností.

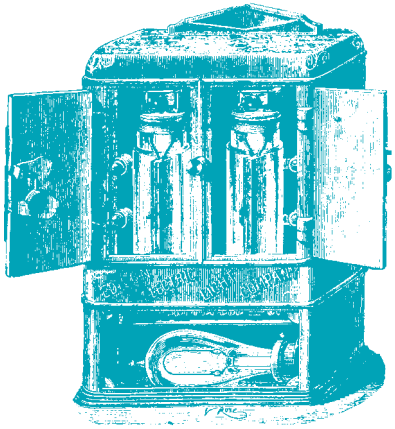
K tomu, aby ji bylo možné provozovat ve velkém, zkonstruoval parou poháněné generátory, elektrické měřiče výkonu a jištěné rozvodné sítě.

Prosadit elektrifikaci v takovém rozsahu nebylo snadné. Proti Edisonovi stáli majitelé plynárenských společností, kteří se právem cítili Edisonovými plány ohroženi. Edison navrhl rozvod elektrické energie kabely, které se ukládaly do země. Za rozkopané chodníky musel zaplatit vysoké pokuty, ale nevzdal se. Dne 4. září 1882, po krátké zkoušce a opravě chybného zapojení, které způsobilo roztržení jednoho ze čtyř dynam, nechal rozzářit pětadvacetikilometrovou síť pěti tisíci žárovkami. Okna napojených domů se rozsvítila a šťastný Edison sklízel velké ovace.

Z bezpečnostních důvodů rozváděl Edison napětí do 200 voltů a k elektroměrům montoval tavné pojistky. Přes velký úspěch se nepodařilo rozšířit elektrickou energii po celém městě tak rychle, jak by si přál. Obyvatelé v okolí Edisonovy elektrárny si totiž neustále stěžovali na kouř a saze, které chrlily komíny první veřejné elektrárny na světě. Nakonec prosadili její zrušení. První elektrárna byla tedy zbořena, ale na její místo během příštího století nastoupilo na pět tisíc nových, velkých uhelných elektráren.



Elektrárna v Pearl Street



První elektroměr zavedený Edisonem

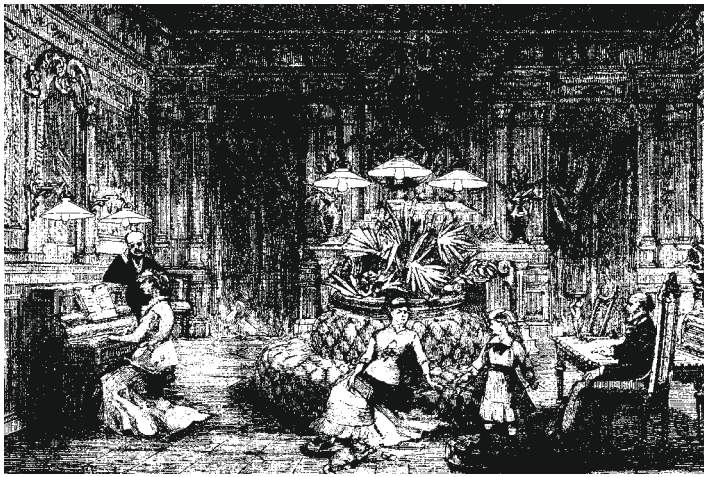
Elektroměr z roku 1930

## STEJNOSMĚRNÝ NEBO STŘÍDAVÝ PROUD?

Edison vyráběl svými dynamy **stejnosměrný proud**, jehož zastáncem byl, jak se později ukázalo ke své škodě, až do své smrti 18. října 1931. Stejnosměrný elektrický proud sice stačil pro obloukovky i žárovky, motory prvních lokomotiv a výtahů, ale jeho přenos na dálku provázely obrovské ztráty. Na ty právě doplatil francouzský vědec **Marcel Depréz**, když se pokoušel stejnosměrným proudem zásobovat výstavní pavilony v Mnichově elektřinou vyráběnou v malé elektrárně postavené u uhelného dolu, vzdáleného 37 kilometrů. Cestou po telegrafních drátech se odporem „ztratilo“ téměř 89 % elektrické energie! Výhodou **střídavého proudu** oproti stejnosměrnému je možnost transformací zvýšit jeho napětí. Když totiž při přenášení stejného výkonu zvýšíme transformátorem napětí jen desetkrát, klesne proud v ampérech na desetinu a ztráty způsobené odporem (protože jsou úměrné druhé mocnině proudu) poklesnou na setinu! **Ve prospěch střídavého proudu rozhodl jednoznačně roku 1891 Michail O. Dolivo Dobrovolskij**.

Ruský inženýr, který roku 1880 sestrojil první třífázový motor, byl pověřen ředitelem Jubilejní výstavy ve Frankfurtu nad Mohanem, aby výstavu zásoboval elektrickým proudem. Alternátor vodní turbíny v Lauffenu na Neckaru byl vzdálen od Frankfurtu téměř 200 kilometrů a kromě toho dával napětí jen 50 voltů. Transformací bylo toto napětí zvýšeno na 16 000 voltů. Po třech měděných vodičích na stožárech s dvojitými a olejem plněnými izolátory se dostal elektrický proud na výstaviště jen s nepatrnými ztrátami. Vysoké napětí bylo opět transformováno na bezpečnou hodnotu, a protože se jednalo už o třífázový přenos podle Teslova objevu, poháněl proud na výstavišti obráběcí stroje, mlátičky a hlavně čerpadlo, které vytlačovalo vodu na umělou skálu. Dobrovolskij ale využil vedení především k experimentálním účelům, které vedly ke zdokonalení třífázových motorů. Střídavý proud nastoupil vítěznou cestu nad proudem stejnosměrným. Roku 1892 vynalezl německý fyzik Pollak mechanický usměrňovač, kterým bylo možné přeměňovat střídavý proud na pulzující stejnosměrný, potřebný pro dobíjení akumulátorů. Stejnosměrné rozvody tím ztratily poslední opodstatnění. Generátory střídavého napětí byly menší a navíc pracovaly spolehlivěji než stejnosměrná dynama. Vinutí cívek střídavých generátorů se dala izolovat, a generátory tak mohly pracovat s vyšším napětím.

Podobně jako Edison byl zastáncem stejnosměrného proudu i náš inženýr **František Křižík**. V roce 1898 se rozhodovalo v Praze o výstavbě velké elektrárny a Křižík, který slavil skvělé úspěchy konstrukcemi



Salon v New Yorku osvětlený Edisonovými žárovkami

Rozvodna

stejnosměrných tramvají a lokomotiv, prosazoval stejnosměrný proud. Proti němu ostře vystoupil **dr. Emil Kolben**. Na přelomu století se pak skutečně roztočilo v holešovické elektrárně pět alternátorů po 800 kW. Pro potřeby Křižíkových tramvají se malá část vyrobeného proudu dodatečně usměrňovala.

## ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY

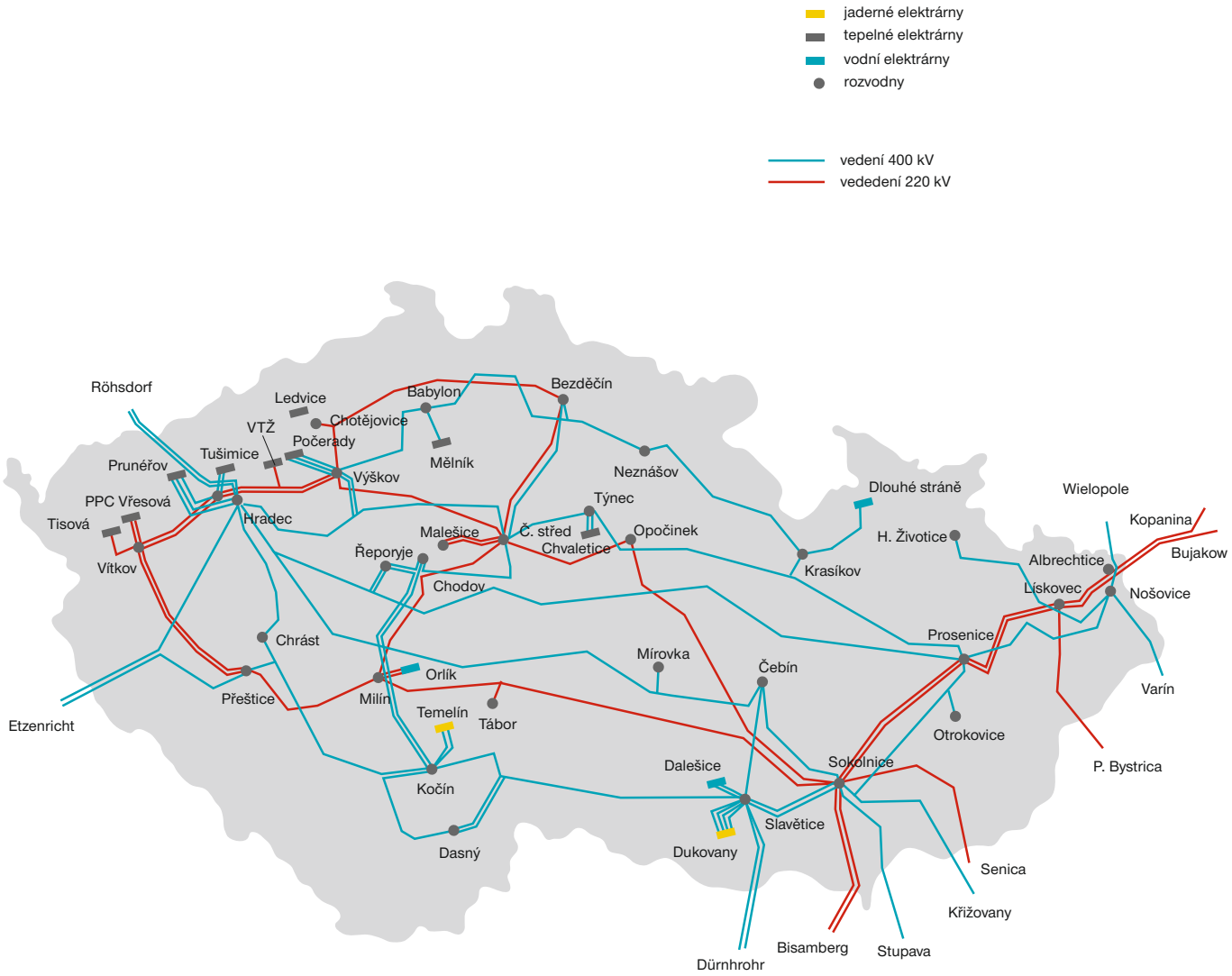
V prvních letech našeho století nebyla rozvodná síť zdaleka tak hustá, jako je nyní. První elektrárny spolu s několika málo kilometry rozvodů tvořily spíš jen nevelké ostrůvky elektrizace. Postupně se ale stavěly stále výkonnější elektrárny, které se začaly propojovat elektrickými vedeními do spolupracujících soustav. S tím, jak rostla výroba elektrické energie a postupovala elektrifikace, začaly se po druhé světové válce vzájemně propojovat i sítě jednotlivých států.

Dělo se tak po celém světě, na všech kontinentech. V Evropě naneštěstí díky „železné oponě“ vznikly soustavy dvě. Západoevropské země měly svou soustavu, země tzv. „socialistického bloku“ druhou. Naše uhelné velkoelektrárny pod Krušnými horami byly propojeny s rozvodnami bývalé NDR a dodávaly tak energii do mamutích továren u Karl-MarxStadtu, dnešního Chemnitz. Velké uhelné elektrárny u polských hranic zase zásobovaly energií pohraniční oblasti Polska a Poláci nám vraceli elektřinu z elektráren v oblasti Katovic pro Ostravu a západní Slovensko. Tento systém umožnil zkrátit přenosy elektrické energie a tím výrazně snížit ztráty ve vedení. Soustava byla založena v roce 1963 a dostala název MIR. Později se tato soustava řízená z pražského dispečinku napojila v Mukačevu ještě na ukrajinskou elektroenergetickou síť bývalého Sovětského svazu a na Maďarsko, které bylo ještě připojeno na Rumunsko a dále Bulharsko.

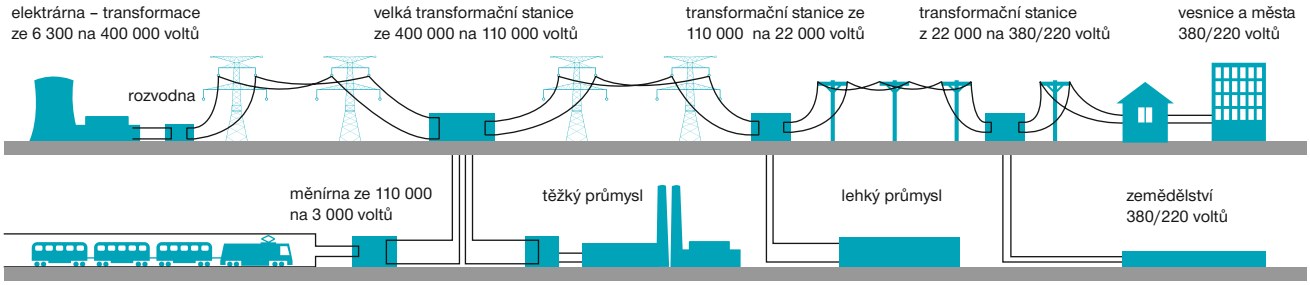
### PROPOJENÍ SOUSTAV

Západoevropská síť Svazu pro koordinaci výroby a rozvodu elektrické energie UCPTE (dnes UCTE) propojuje nejrůznější velké elektrárny nejen na kontinentu, ale podmořskými výkonovými kabely po dnu kanálu La Manche je spojena i s Velkou Británií. Samozřejmě, že bylo ideální spojit obě soustavy a tak využívat levného nočního proudu na územích, kde právě začíná ranní nebo večerní špička. Problém byl v tom, že se obě soustavy lišily rozdílnými metodikami a technickými prostředky regulace kmitočtu. Od konce padesátých let se v malém začalo s výměnou energie s Rakouskem tzv. vyděleným provozem.

Rakousko nám dodávalo přebytečnou energii z vodních elektráren v letních měsících, kdy tají ledovce v Alpách, my ji zase vraceli z uhelných elektráren v Opatovicích, Dětmatovicích či Hodoníně. Později byly obě soustavy propojeny přes tzv. stejnosměrnou spojku. V Rakousku se střídavý proud s naším kmitočtem usměrňoval pomocí polovodičů, po několika metrech se opět pomocí polovodičů měnil na střídavý, ale již o rakouském pilotním kmitočtu. Obě soustavy tak mohly působit nezávisle na sobě. Porucha jedné neohrožovala druhou a převáděný výkon šlo okamžitě libovolně měnit. Po sjednocení Německa a pádu komunismu se urychlily práce na vybudování dalšího propojení naší soustavy se soustavou UCTE. Byla postavena nová měnírna v bavorském Etzenrichtu a vedení o napětí 400 kV (400 tisíc voltů) propojující




**Přenosová síť 400 a 220 kV České republiky**




**Propojení výroby a spotřeby elektrické energie**

obě soustavy mezi bavorským Weidenem a naším Rozvadovem. Dříve jsme se mohli k západoevropskému systému rozvodu elektrické energie připojit pouze přes stejnosměrné spojky. K přímému propojení došlo dne 18. 10. 1995 po splnění mnoha technických podmínek provozu elektrizační soustavy a změny principu regulace turbín v elektrárnách. Energetika tak byla prvním odvětvím v ČR, které nastoupilo do spojené Evropy ještě před vstupem ČR do Evropské Unie.

Zajímavé je, že principu propojení dvou elektrizačních soustav přes stejnosměrnou spojku využil i jeden stát. V Japonsku pracuje totiž východní část s frekvencí 50 Hz, zbývající část s frekvencí 60 Hz. I zde se oba systémy propojily ve stanici, v níž se proud usměrní a ve střídači opět převede na střídavý proud požadované frekvence, takže obě soustavy jsou vlastně propojeny stejnosměrným vedením „nulové délky“.

## ELEKTRICKÁ VEDENÍ

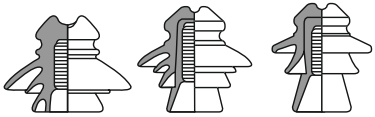
Síť elektrického vedení má u nás dvojí úkol. Za prvé je to propojení všech velkých vodních, tepelných a jaderných elektráren a přeprava velkých energetických výkonů přenosovou soustavou o napětí 400 kV a 220 kV do napájecích uzlů, a za druhé přeprava elektrické energie po ztransformování na nižší napětí 110 kV nebo 22 kV distribuční soustavou k odběratelům, tedy do továren a měst. Tam pak distribuční transformační stanice sníží napětí na 3 × 380/220 V – to je již napětí, které běžně používáme.

Naše republika je doslova sešněrována sítí elektrického vedení, vždyť délka linky o napětí 400 kV dosahuje přes 3 000 kilometrů a síť vedení 220 kV měří kolem 2 000 kilometrů. Zmínili jsme se již, že pod lamanšským průlivem je energie vedena podmořským kabelem. Každý z vás se jistě už také setkal s vedením elektrické energie pomocí vodičů umístěných na vysokých stožárech. Povězme si tedy o elektrickém vedení něco bližšího.

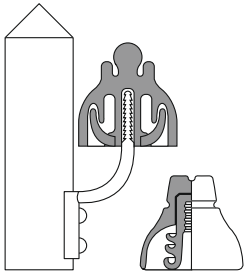
Elektrická vedení mohou být konstruována v různém provedení. Vedení se liší především způsobem izolace: venkovní vedení, kabelové, zapouzdřené s plynovou izolací či kryogenní, využívající supravodivosti některých látek. Tak lze transportovat elektrickou energii s napětím i přes 1000 kV. Volbu správného typu vedení ovlivňuje řada faktorů. Jsou to jednak elektrické veličiny, jako je velikost napětí, přenášený proud (výkon), úbytek napětí (výkonu), zkratové proudy apod. Dále se musí přihlédnout k otázkám konstrukčním a v neposlední řadě k ekonomickým a ekologickým podmínkám. Často musí ustoupit ekonomie požadavkům urbanistů, tedy odborníků zabývajících se architekturou měst, a místo lacinějších venkovních vedení projektovat podstatně dražší způsoby přenosu, například kabelové.

## VENKOVNÍ VEDENÍ

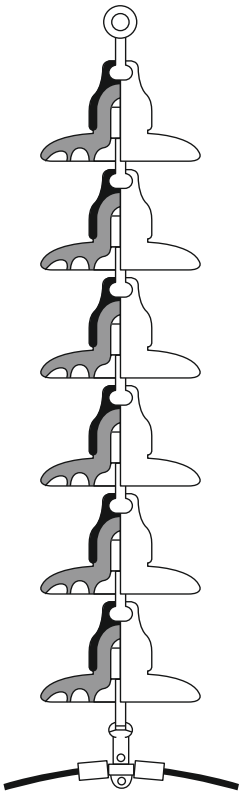
Venkovní vedení musí čelit nepřízni počasí – větru, námrazám či bouřkám. Jako vodiče se proto užívají jednoduché kulaté bronzové vodiče do průřezu 25 mm$^2$ nebo lana. Soustředná lana mají v ose **duši**, drát a určitý počet drátů stejného průřezu, které duši obklopují. Kombinovaná lana se skládají z různých drátů. Běžná jsou ocelohliníková lana Al-Fe. Za vlhka se na povrchu lan, která mají relativně malý průměr k provozovanému napětí, objevuje tzv. **korona**. Projevuje se sršícími drobnými výboji, které ruší příjem rozhlasu a televize a zvyšují ztráty ve vedení. Proto se pro vedení o napětí 400 kV a vyšším používají tzv. **svazkové vodiče**. Pro každou fázi se vedou dvě, tři nebo čtyři lana, jejichž souběžnost zajišťují pevné rozpěrky. Svazkové vodiče mohou být použity i pro zvětšení přenášeného proudu. Průhyby lan a tahy na stožáry se dají přesně vypočítat. Křivka, kterou vytváří vodič napnutý mezi dva závěsné body, se nazývá **řetězovka**. Z jejího matematického modelu se vychází při projektování vzdálenosti stožárů.



Delta izolátory



Olejový izolátor z roku 1891



Řetězec izolátorů

## IZOLÁTORY

Vodiče jsou na stožárech upevněny pomocí izolátorů. Ty mohou být jednak **podpěrné**, jednak **závěsné**, tvořené buď řetězci **čapkových (talířových) izolátorů**, nebo **dříkovými tyčovými izolátory**. Konce izolátorů jsou vybaveny speciálními svorkami vytvořenými tak, aby se vodiče ani izolátory při poryvech větru nepoškodily. Izolátory musejí odolávat rovněž velkému mechanickému zatížení, způsobenému těžkými svazky a v zimě námrazou, ale také přepětím ve vedení, které nastává při jeho spínání či rozpojování nebo při úderu blesku. Jako materiál se používá porcelán, v poslední době často i sklo. Při volbě izolátorů se musí brát v úvahu místo a vlastnosti okolí a podle potřeby zvětšit izolační schopnosti zvýšeným počtem talířů nebo dříků, v obzvláště exponovaných místech i zajistit jejich čistění.

## STOŽÁRY

V krajině nejviditelnějším zařízením rozvodné sítě jsou vysoké stožáry. Jejich vývoj stále pokračuje. Starší typy jsou jednodušší – nazývají se podle toho, co připomínají: **Jedle**, **Soudek**, **Portál** (tomu se vyčítá, že zabírá příliš mnoho místa). Novější typy jsou složitější: **Delta**, **Kočka**, **Donau**.

Vršek stožárů nese slabší zemnicí vodiče, představující velmi účinnou ochranu proti bleskům, které svedou do země. Uspořádání stožárů a jejich konstrukce zaručují, že se ani při nejsilnější vichřici nepřiblíží svazky k sobě, k zemi či ke stožáru. Čím jsou stožáry vyšší, tím mohou být od sebe více vzdáleny. Rozestup stožárů typu Donau může být při vhodném terénu až půl kilometru. Vedle **nosných stožárů** tvoří síť i **stožáry výztužné**, které se nesmí zhroutit, ani kdyby se lana na jedné straně přetrhla a na jejich ramena působila obrovská síla prověšeného vedení z druhé strany. Stožáry jsou vyráběny z oceli Corten nebo Atmofix, na jejímž povrchu se působením atmosférické vlhkosti vytvoří tenká vrstvička koroze, která pak chrání materiál stožáru lépe než nátěr.

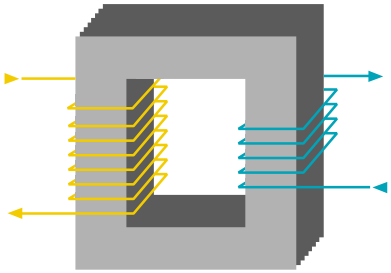
## TRANSFORMÁTORY

Z velmi vysokého napětí je třeba elektrickou energii transformovat na napětí nižší. Tento proces se odehrává v transformačních stanicích, které tvoří spojovací článek mezi přenosovou a distribuční soustavou. Hlavní distribuční sítě mají převážně napětí 110 kV, další úroveň tvoří sítě 22 kV. V některých lokalitách dožívají sítě 35 kV a 10 kV. Kromě elektrické energie přenáší venkovní vedení a ve městech i kabely současně signály hromadného dálkového ovládání. Díky polovodičům lze vysílat do distribuční sítě kódované impulzové signály, kterými je možné ovládat zapínání a vypínání nejrůznějších spotřebičů, například akumulačních kamen či bojlerů.

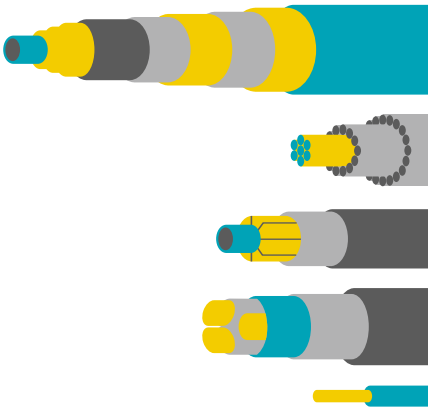
## KABELY

Kabelová vedení se používají v obytných aglomeracích, v areálech průmyslových závodů a v budovách. Podle počtu žil jsou kabely **jednožilové, trojžilové, čtyřžilové a vícežilové**. Jednožilové se používají zejména v silových obvodech vysokého a velmi vysokého napětí, kde lze ze tří kabelů vytvořit trojfázovou skupinu s oddělenými fázemi. Trojžilové kabely se používají

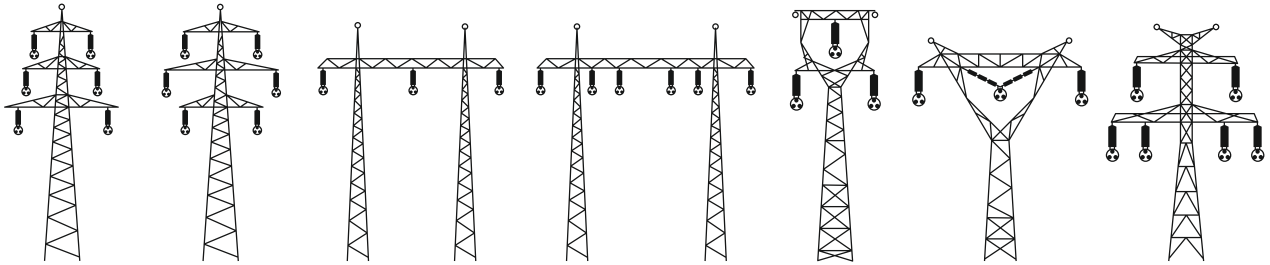
Transformátor



Transformátory mění střídavý proud o určitém napětí na střídavý proud o jiném napětí. Mohou jej zvyšovat, stejně tak i snižovat.



Typy kabelů




Typy stožárů

převážně u vysokého napětí, podobně jako čtyřžilové, u nichž je navíc vyveden nulový vodič. Podle materiálů, ze kterých jsou vyrobeny, se kabely dělí na měděné, používané pro řídicí obvody nízkého napětí a u silových kabelů velmi vysokého napětí, a kabely hliníkové, používané v silových obvodech vysokého a nízkého napětí.

## STANICE

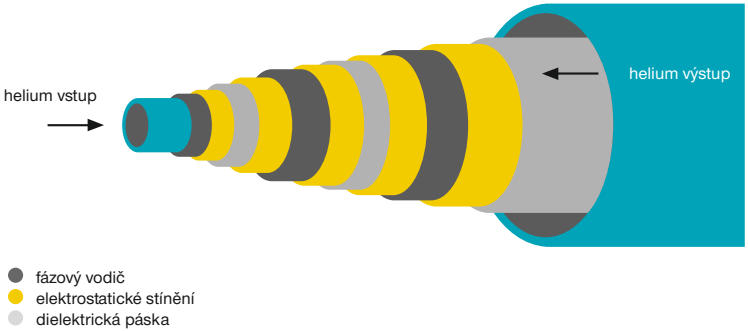
Elektrický rozvod tvoří elektrické sítě různého napětí, jejichž součástí jsou vedle vedení, tedy vodičů a stožárů, i stanice. Ty se dělí na **transformovny**, ve kterých se napětí mění na jiné a rozvádí se elektrická energie při různém napětí, dále na **spínací stanice**, z nichž se rozvádí elektrická energie při tomtéž napětí, a konečně **měnírny** pro usměrňování střídavého proudu na stejnosměrný, nejčastěji pro potřeby napájení stejnosměrných trakčních vozidel, tedy lokomotiv a tramvají.

Podle velikosti a způsobu provozu mohou být stanice velké, střední a malé, s obsluhou nebo bezobslužné. Podstatnou částí velkých transformačních, spínacích a usměrňovacích stanic jsou **rozvodny**, u menších stanic jsou to **rozváděče**, zatímco malé **rozvodnice** jsou pro rozvod elektrického proudu obvykle u odběratelů.

Rozvodny jsou, jak název napovídá, rozvodná zařízení pro přivádění a odvádění elektrické energie téhož napětí a jsou technickými celky se samostatnou budovou nebo prostorem. Jejich elektrickou část tvoří hlavně vodiče, izolátory, přístroje spínací, ochranné, řídicí a návěstní. Kryté rozvodny v budovách se používají zpravidla pro napětí do 35 kV venkovní jsou obvyklé pro velmi vysoké napětí.

Velikost rozvodných stanic je určena především napětím rozvodných zařízení,

Zapouzdřená rozvodna Chodov




Koaxiální supravodivý kabel

počtem odboček v rozvodných zařízeních, rozváděným výkonem, počtem a výkonem transformátorů apod. Transformovny pro velké závody i ty, které slouží veřejnému rozvodu elektrické energie, se od sebe příliš neliší. Jejich součástí je ale vždy zařízení pro měření odebrané energie. Ve velkých transformovnách na straně vysokého napětí, v malých a středních transformovnách z vysokého na nízké napětí do 1000 kVA se může odebraná energie měřit na straně nízkého napětí.

## OCHRANA SÍTÍ

Všechny uvedené části elektrizační soustavy jsou silovými články, které vyrábějí, přeměňují a rozdělují požadovanou elektrickou energii. Tato soustava však musí obsahovat i články řídicí, které ji regulují. Všechny články jsou vzájemně svázány jak v ustáleném chodu (množství a parametry vyrobené a rozváděné elektrické energie musí odpovídat její okamžité spotřebě), tak i při vznikajících přechodových jevech. Vedle normálního bezporuchového chodu se může vyskytnout i havarijní provoz, který vznikne náhlým odepnutím jednoho nebo více článků soustavy, přičemž soustava může dále pracovat s některými technickými a ekonomickými omezeními. Přechodové jevy jsou pak ty, při nichž soustava přechází z jednoho ustáleného stavu do druhého ustáleného stavu.

Normální přechodové jevy vznikají při obvyklém provozu jako následek běžných změn při vypnutí nebo zapnutí transformátorů, manipulace při vypínání a zapínání vedení, alternátorů a změnách zatížení ze strany spotřeby.

Přechodové jevy mohou vzniknout i při úderech blesku s následným vypnutím části soustavy, nebo při poruše izolace vodičů, kdy vznikají nejčastější poruchy – zkraty.

Samozřejmě, že zařízení musí dokázat odolat všem druhům zkratů a poruch. Bezporuchový chod celé soustavy mají na starosti velice nákladné a složité ochranné systémy. Jednotlivé části těchto systémů jsou u starších zařízení složeny z elektromechanických relé, u nových se již plně uplatňují polovodiče a počítače. Jejich úkolem je omezit (např. při zkratech) následky vzniklých poruch, nebo jim předcházet (např. při přetížení).

Ochrana musí provést vypnutí postiženého úseku a současně poruchu signalizovat obsluze.

## PŘENOS ELEKTRICKÉ ENERGIE BUDOUCNOSTI

Ohromný technický pokrok přináší stále nová a moderní řešení nejrůznějších problémů, přesto se před energetiky otevírá řada úkolů a otázek, na něž budou muset již v brzké budoucnosti najít odpověď. Přenos elektrické energie se bude muset zajišťovat ze stále větších vzdáleností. Rozsáhlé aglomerace budou potřebovat stále větší množství energie, které se do nich musí přivést. Přitom se při všem musí respektovat stále se zpřísňující ekologické a ekonomické požadavky.

Vývoj trojfázových přenosů elektrické energie směřuje ke stále se zvyšujícímu napětí. Po dnes už běžně používaném napětí 400 kV (500 kV) přebírá funkci nadřazeného systému napětí 750 kV a v provozu jsou dokonce linky **ultravysokého napětí** 1150 kV, přenášející výkony okolo 3000 MW. Nové počítače řídící posun fází a vývoj nových stožárů izolovaných již od základů (řetězce klasických izolátorů by byly pro tato ultravysoká napětí příliš mohutné) umožní již brzy přenosy energie o napětí až 2200 kV!

Pokusy se **supravodivými kabely** naznačují další možnosti vývoje přenosu elektrické energie. Základním materiálem supravodi-

Elektrická vedení

vých vodičů je páska z niobu legovaná cínem ($Nb_3Sn$), titanem (NbTi) nebo zirkonem (NbTiZr), která se do supravodivého stavu uvede nejčastěji tekutým heliem o teplotě asi 4,2 K (–269 °C). Na každém kilometru musí ale stát kryogenní stanice, která udržuje chlad cirkulací použitého média.

## STEJNOSMĚRNÝ PROUD

Při přenosu elektrické energie ve velkém množství a na velké vzdálenosti se vyskytují při využití střídavého proudu některé technické a ekonomické problémy. Patří k nim především problémy stability chodu elektrické soustavy, velké zkratové výkony, nutnost kompenzace parametrů přenosů ap. V budoucnu se proto nedá ani vyloučit využití stejnosměrného přenosu velmi vysokého napětí, čímž by se tyto nepříznivé jevy eliminovaly. Podzemní a dokonce podmořské silové kabely už běžně stejnosměrný přenos zvládají. Mezi dvě trojfázové soustavy je umístěno stejnosměrné vedení, na jehož koncích jsou dva **měniče (konvertory)**, k nimž jsou trojfázové soustavy připojeny. Při přenosu výkonu z jedné soustavy do druhé pracuje první měnič jako **usměrňovač** a druhý jako **střídač**. Při přenosu výkonu opačným směrem se změní vzájemně funkce obou měničů. Při stejnosměrném přenosu se může použít země jako zpětný vodič. Tento způsob však lze užít jen mimo obydlená území, protože proud v zemi zvyšuje korozi potrubí, plášťů kabelů a může narušit i činnost slaboproudých zařízení. Při použití dvou vodičů ušetříme ve srovnání s trojfázovým přenosem jeden vodič a stožáry mohou být jednodušší, vliv zpětného vodiče v zemi je tím eliminován. Na druhou stranu náklady koncových stanic stejnosměrného přenosu jsou v porovnání se střídavými **rozvodnami** mnohonásobně vyšší.

Již vzpomínané kabelové propojení Anglie s Francií podmořským kabelem o délce 64 km bylo realizováno v roce 1961. Stejnosměrné napětí protékající dvěma vodiči je ±100 kV, proud je 800 A a přenášený výkon tedy 160 MW. Podobný, ale jednožilový podmořský kabel spojuje už od roku 1954 Švédsko s ostrovem Gotland a na vzdálenost 96 kilometrů přenáší výkon 20 MW při napětí 100 kV. Rovněž dánský Alborg je propojen se švédským Göteborgem stejnosměrným přenosem o napětí 250 kV vedeným zčásti venkovními vodiči (86 km) a zčásti pod mořem (87 km). O tři roky později (1968) bylo položeno vedení mezi Sardinií a Korsikou – podmořský kabel je dlouhý 116 km, venkovní vedení dokonce 280 km. V roce 1972 byl položen kabel mezi Londýnem a 88 kilometrů vzdáleným Kingsnorthem. Důvodem, proč bylo využito kabelového stejnosměrného přenosu napětí, bylo příliš husté osídlení oblasti okolo Londýna. Jiné stejnosměrné přenosy jsou již postaveny v USA, Kanadě, Kazachstánu a řada dalších je ve výstavbě.

# JMENNÝ REJSTŘÍK


Ampère André Maria 11, 13, 19, 20, 22
Bell Alexander Graham 35
Biot Jean Baptiste 20
Bondy K. 32
Brett James 35
Brett John 35
Bunsen Robert Wilhelm 19
Cooke William 35
Coulomb Charles August de 11, 19, 20
Davenport Thomas 22
Davy Humphrey 21, 29, 34
Depréz Marcel 43
Diviš Prokop 17, 18
Dolivo-Dobrovolskij Michail Osipovič 48
Edison Thomas Alva 22, 23, 24, 25, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 40, 42, 47, 48
Einstein Albert 20, 30
Faraday Michael 11, 20, 21, 22, 27, 40
Foucault Jean Bernard Léon 29, 35
Franklin Benjamin 18
Galvani Luigi 18, 27, 34, 42
Gauss Karl Friedrich 20
Gay-Lussac Louis Joseph 20
Geissler Heinrich 35
Gilbert William 7, 17
Goebel Heinrich 23, 35
Grove William Robert 35
Hainz 30
Halske Johann Georg 22, 27,
Helmholtz 21
Henry Joseph 20, 21
Hertz Heinrich 21
Hopkinson John 32
Jabločkov Pavel Nikolajevič 29
Moritz Hermann Jakobi 22, 27
Jeantaud 22
Kaplan Viktor 33
Kolben Emil 24, 25, 27, 32, 33, 49
Kriéger H. 22
Křižík František 14, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 48
Laue Max Theodor Felix von 21
Leclanché Georges 19, 27
Lodygin Alexandr Nikolajevič 23
Maxwell James Clerk 20, 21
Meidring 19
Morse Samuel Finley 35
Nollet Antoine 17
Oersted Hans Christian 18, 19, 35
Ohm Georg Simon 11, 12, 14, 20,
Outlet 29
Piett Ludvík 30
Pixii 22
Plücker Julius 35
Pollak 34, 48
Siemens Friedrich 27
Siemens Werner 22, 23, 27, 35
Siemens Wilhelm 27
Stodola Aurel 33
Stýblo 30
Swan Joseph Wilson 23
Tesla Nikola 23, 24, 31, 32
Thalés Milétský 7
lord Kelvin 23
Volta Alessandro Giuseppe 11, 18, 27, 34, 42, 43
Weber Wilhelm Eduard 20
Wheatstone Charles 22, 35
Zenger prof. 29
Zvoníček Jan 33

Grafická úprava a sazba: www.marvil.cz
Ilustrace: Martina Hamouzová
Materiál je součástí vzdělávacího programu ČEZ, a. s., Svět energie. Je určen k bezplatnému šíření pro vzdělávací účely.
Autoři publikace vynaložili veškeré úsilí identifikovat autory všech reprodukovaných fotografií, bohužel se to ve všech případech nepodařilo.
Nabídku dalších materiálů vzdělávacího programu Svět energie naleznete na **www.cez.cz/vzdelavaciprogram**
2011 © ČEZ, a. s., sekce komunikace, Duhová 2/1444, 140 53 Praha 4, tel.: 211 042 681