

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta



## **Silová pole**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Autor: Josef Kapek

2013 ČZU v Praze

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

Katedra fyziky

Technická fakulta

# **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

Kapek Josef

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Silová pole**

Anglický název

**Force field**

---

## **Cíle práce**

Z dostupných zdrojů charakterizovat typy jednotlivých silových polí, porovnat co mají společného, v čem se liší.

## **Metodika**

Na základě studia dostupných materiálů vypracovat bakalářskou práci dle předložené osnovy. Předpokládá se rešeršní práce bez vlastních experimentů.

## **Osnova práce**

únor 2012 - vyzvednutí zadání práce na katedře fyziky TF

únor 2012 - září 2012 - rešerše vhodných materiálů

září 2012 - leden 2013 - vytvoření bakalářské práce

leden 2013 - březen 2013 - finální úpravy vytvořené práce a její vtištění

duben 2013 - odevzdání práce

---

**Rozsah textové části**

25 stran

**Klíčová slova**

Silová pole, gravitační, elektrické, magnetické

**Doporučené zdroje informací**

- 1) HALLIDAY, D. et. al.: Fyzika. VUTIUM, Brno 2003, 1198 s. ISBN 80-214-1868-0
- 2) MECHLOVÁ, E., KOŠTÁL, K. et. al.: Výkladový slovník fyziky. Prometheus, Praha, 1999, 588 s. ISBN 80-7196-151-5
- 3) HALPERN, A.: 3000 Solved Problems in Physics. McGraw-Hill, New York, 1988, 751 pp. ISBN 0-07-025734-5
- 4) JARDINE, J.: Physics through Applications. Oxford University Press, Oxford, 1991, 247 pp. ISBN 0-19-914280-7

**Vedoucí práce**


Sedláček Jan, RNDr., Ph.D.

**Termín zadání**

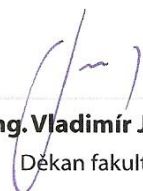
listopad 2011

**Termín odevzdání**

duben 2013

  
**prof. RNDr. Ing. Jiří Blahovec, DrSc.**  
Vedoucí katedry



  
**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**  
Děkan fakulty

V Praze dne 6.2.2012

### **Čestné prohlášení autora BP**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma "Silové pole " vypracoval samostatně pod vedením RNDr. Jana Sedláčka, Ph.D. a je mým autorským dílem.

Všechny prameny a publikace jsem uvedl v seznamu použité literatury.

V Praze dne 4. 4. 2013

Podpis .....

## **Poděkování**

Děkuji tímto vedoucímu bakalářské práce panu RNDr. Janu Sedláčkovi, Ph.D. za odborné konzultace a za vedení při psaní této bakalářské práce.

**Abstrakt:** Tato bakalářská práce je literární rešerší na téma „Silová pole“. Cílem této bakalářské práce bylo definovat jednotlivé druhy silových polí, porovnat co mají společného a ekonomicky zhodnotit dopad jejich existence. V kapitole „Druhy silových polí“ je stručně nastíněno, jak vznikají různá silová pole. Dále tato kapitola obsahuje, jak se dají jednotlivá silová pole matematicky vyjádřit, kdo na tato silová pole přišel a jak se ve skutečnosti projevují. Kapitola „Gravitační pole“ obsahuje platné zákony a vlastnosti gravitačního pole. V kapitole „Magnetické pole“ jsou charakterizovány vlastnosti magnetů, chování planety Země po sluneční erupci a vznik polárních září. Práce je zakončena praktickým a ekonomickým zhodnocením existence těchto polí v praxi.

**Klíčová slova:** silové pole; gravitační; elektrické; magnetické

**Summary:** This bachelor thesis is a literature review on the topic "Force field". The aim of this work was to define the various types of force fields, to compare what they have in common and practically evaluate the impact of their existence. In the chapter "Types of force fields" there is briefly outlined how the different force fields arise. In addition this chapter contains how the individual force fields can be expressed mathematically, who discovered these force fields and how they actually manifest themselves. In the chapter "Gravitational field" contains the applicable laws and characteristics of the gravitational field. The chapter "Magnetic fields" the properties of magnets, the behavior of the Earth after solar flare and the formation of the aurora are characterized. The work ends with practical and economic evaluation of the existence of the force fields in practice.

**Key words:** force field; gravitational; electrical; magnetic

# Obsah

1. Úvod .....	1
2. Cíl práce a metodika .....	2
3 Druhy silových polí .....	3
3.1 Silové pole .....	3
3.1.1 Konzervativní silové pole .....	4
3.1.2 Nekonzervativní silové pole .....	4
3.1.3 Energie .....	4
3.2 Gravitační pole .....	6
3.2.1 Teorie gravitačního pole .....	6
3.2.2 Keplerovy zákony .....	6
3.2.3 Newtonův gravitační zákon .....	7
3.2.4 Vlastnosti gravitačního pole .....	9
3.2.5 Centrální a homogenní gravitační pole .....	10
3.2.6 Tíhové pole .....	10
3.2.7 Pohyb v gravitačním poli .....	11
3.2.8 Pohyb družic v okolí Země .....	11
3.3 Magnetické pole .....	13
3.3.1 Magnety .....	13
3.3.2 Vlastnosti magnetů .....	14
3.3.3 Magnetické pole Země .....	16
3.3.4 Polární záře .....	16
3.4 Elektrické pole .....	18
3.4.1 Historie elektrického pole .....	18
3.4.2 Vlastnosti elektrického pole .....	18
3.4.3 Znázornění elektrického pole .....	20
3.5 Porovnání silových polí .....	22
4. Praktické a ekonomické přínosy silových polí .....	24
5. Závěr .....	29
6. Seznam literatury .....	30
7. Seznam obrázků .....	33
8. Přílohy .....	34

# 1. Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá oblastí gravitačních, magnetických a elektrických polí. V kapitole „Gravitační pole“ je teoreticky zodpovězeno, jak gravitační síla působí na ostatní tělesa. Zákon gravitačního pole Země jako první matematicky formuloval, také díky poznatkům J. Keplera, Sir I. Newton. Nejvýznamnější vlastností gravitačního pole je beze sporu jeho přitažlivost. Bez tohoto pole, by nebyl možný pohyb po zemi. Pro opuštění gravitačního pole Země je zapotřebí dosáhnoutí tzv. kosmické rychlosti. V následující kapitole se píše o vlastnostech magnetu a magnetickém poli Země. Při sluneční erupci se šíří částice k zemské magnetosféře, kde se odrazí od Van Allenových radiačních pásů. Nastane interakce, která má za následek vznik polárních září. V kapitole „Elektrické pole“ je popsána stručná historie od Thalety Milétského, který jako vůbec první popsal přitahování dvou těles třeným jantarem, až po Ch. C. Coulomba, který popsal, na čem závisí pohyb dvou zelektrizovaných nábojů. Dále se kapitola zabývá základními vlastnostmi, jejich matematickými zápisy a druhy znázornění elektrického pole za pomoci siločar. Čím blíže budou siločáry u sebe, tím bude elektrické pole v okolí nábojů silnější.

Princip silových polí obsahuje ohromné množství různých technologií, které by nebylo možné provést bez přítomnosti silových polí. Ekonomické přínosy těchto polí jsou tak téměř nevyčísitelné. Pro přiblížení některých technologií, které jsou založeny na bázi silových polí a mají praktické využití, jsou uvedeny např. přínosy gravitačních přečerpávacích stanic. Tento druh vodních elektráren využívá gravitační energii vody pro výrobu elektrické energie. Oproti jaderným elektrárnám přečerpávací stanice používají vodu jako součást obnovitelných zdrojů a nepotřebují tak žádná fosilní paliva. Dále se tato kapitola zabývá přínosy gravitační svítilny GravityLight, užívání magnetické rezonance, magnetických polštářů pro rychlovlaky, nabíjecími generátory a tyčemi pohlcující statickou elektřinu.



## **2. Cíl práce a metodika**

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit literární rešerši zaměřenou na silové pole. Z dostupných zdrojů charakterizovat typy jednotlivých silových polí. Stručně porovnat co mají společného, v čem se od sebe liší a prakticky zhodnotit jejich význam.

## 3 Druhy silových polí

### 3.1 Silové pole

Silové pole je formou existence, která navzájem spojuje částice látek do jedné soustavy a provádí jejich interakce. Dále lze silové pole chápat jako prostor, ve kterém působí síly na hmotný bod, těleso či soustavu několika těles. Zdrojem silového pole jsou složitější mikročástice jako atomy, molekuly či ionty, se kterými vstupuje hmota do vzájemného působení za určitých podmínek. Polem se tak ve fyzice rozumí forma hmoty, která má jiné vlastnosti, než látka. Tato hmota skládající se z elementárních částic, se projevuje klidovou hmotností nebo silovým polem. Látka se na rozdíl od hmoty projevuje nenulovou hmotností mající určitou energii. V některých případech se pole za hmotu nepovažuje, protože podle Einsteinovy teorie relativity není rozdíl mezi hmotou a energií. Hmota je schopna se změnit v energii a naopak energie je schopna se změnit zpět na hmotu. Jedinou podstatu vesmíru tak tvoří hmota, která se zároveň objevuje v nekonečně mnoha kvalitativně rozdílných formách. [1]

Vlastnosti silových polí se dají popisovat pomocí fyzikálních veličin. Fyzikálními veličinami je myšlena jakákoliv objektivní vlastnost, jejíž hodnota se dá vypočítat nebo změřit. Dle stavu lze veličiny rozdělit na intenzivní, extenzivní a protenzivní. Intenzivní veličiny nejsou závislé na množství látek a nedají se sčítat (teplota, tlak, hustota, entropie). Naopak extenzivní veličiny jsou závislé na množství látek a dají se přímo měřit, sčítat a srovnávat s jiným vzorkem (teplo, energie, hmotnost, objem, délka, povrch). Protenzivní veličinou je čas, který se plynule, trvale, spojitě mění a není schopen se zpětně reprodukovat. Protože vlastnosti jsou závislé na orientaci v prostoru a pro vyjádření některých veličin je potřeba více číselných hodnot rozdělují se dále fyzikální veličiny na veličiny skalární, vektorové, tenzorové a spinorové. Prostor, na kterém je pole, se ve fyzice myslí nejen prostor eukleidovský (tři prostorové souřadnice a čas), ale také Minkowského prostoročas pro potřeby speciální teorie relativity. Skalární veličiny jsou určeny svou číselnou hodnotou a měřicí jednotkou (čas, teplota, objem, hmotnost, délka). Vektorové veličiny jsou určeny číselnou hodnotou, měřicí jednotkou a směrem působení (síla, rychlost, zrychlení). Tenzorové veličiny jsou souřadnicové zápisy vektorů s funkcí času a prostoru. (tenzor setrvačnosti, tenzor permitivity). Všechny vektory a tenzory lze v prostoročase vyjádřit pomocí spinorů. [10]

### 3.1.1 Konzervativní silové pole

Mezi konzervativní silová pole patří všechna homogenní silová pole. Konzervativní síla je síla, jejíž práce není závislá na trajektorii. Tato práce závisí pouze na počátku a konci trajektorie, tedy na bodech A, B. Práce vykonaná mezi body A, B je po všech existujících trajektoriích stejná. Výsledkem toho je, že práce konaná z bodu A do bodu B po jedné dráze je stejně velká jako práce konaná z bodu A do bodu B po jiné dráze, aniž by se ztratila nebo navýšila energie objektu, na který působí konzervativní síla. Přímým důsledkem toho, že práce konzervativní síly závisí pouze na konečné a počáteční poloze, je to, že práce konzervativní síly po uzavřené křivce je nulová. Příklady konzervativních sil jsou síla gravitační, tíhová, lineární návratná síla.

Konzervativní silová pole jsou ta, která na objekty působí pouze konzervativními silami. Jsou to např. gravitační pole, elektrické pole, magnetické pole, aj. V gravitačním poli jde o gravitační potenciální energii, v elektrickém poli o elektrické potenciální energie, v magnetickém poli o magnetické potenciální energie. Objekt může obsahovat rovněž elastickou potenciální energii jako následek silového působení napjaté pružiny nebo jiné plastické deformace. Pak je potřebným konzervativním silovým polem oblast, ve které na těleso působí síla pružiny.

### 3.1.2 Nekonzervativní silové pole

V tomto silovém poli působí na pohybující se hmotný bod kromě síly pole i disipativní síly, které odporují jeho pohybu (třecí síla, odpor prostředí, valivý odpor). Mechanická energie se v nekonzervativním silovém poli nezachovává a její část se během pohybu spotřebuje na práci nutnou k překonání disipativních sil. V nekonzervativním silovém poli celková práce závisí na délce trajektorie. [11]

### 3.1.3 Energie

Energie je jednou z nejvýznamnějších skalárních veličin. Obecně je energie definována jako práce, kterou vykoná jeden Newton působící po dráze jednoho metru. Hlavní jednotkou energie v soustavě SI je Joule ( $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$ ). Joule je jednotka odvozená a byla pojmenována na počest **Jamese Prescottta Joule** (1818-1889), který studoval povahu tepla a objevil její vztah k mechanické práci a energii. Mechanická energie má dvě formy: energii kinetickou

(pohybovou) a energii potenciální (polohovou). V konzervativním systému pokles potenciální energie vede k růstu kinetické energie a opačně. Kinetická energie je dynamická veličina, která souvisí s pohybem a která se vykonanou prací na tělese změnila. Těleso je schopno konat práci na úkor kinetické energie. Při pozorování pohybujícího předmětu, jehož rychlost se vzhledem k inerciální soustavě změnila, musela být vykonaná práce jiným tělesem. Věta o kinetické energii pro hmotný bod říká, že změna kinetické energie hmotného bodu je rovna práci vykonané výslednicí sil při přemístění hmotného bodu z původní do konečné polohy. Při zanedbání disipativních sil lze zapsat vztah:

$$d\left(\frac{1}{2} m v^2\right) = \vec{F} \cdot d\vec{r} \Rightarrow dE_k = dW \quad (3.1)$$

- kde  $m$  je hmotnost tělesa,  $v$  je rychlost tělesa,  $\vec{F}$  je výsledná síla na hmotný bod,  $dE_k$  jeho kinetická energie a  $dW$  je elementární práce

Obecný tvar pro kinetickou energii tak je:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \quad (3.2)$$

Protože je na tělese vykonaná práce, získá těleso kinetickou energii a tím i schopnost konat práci. Potenciální energie je spjatá s polohou tělesa v silovém poli. Pro konzervativní sílu  $\vec{F}$  lze definovat potenciální energii jako práci, kterou vykoná síla působící proti konzervativní síle, po dráze z bodu B s nulovou potenciální energií do bodu A.

$$E_p = - \int_A^B \vec{F}_G \cdot d\vec{r} = m g (h_A - h_B) \quad (3.3)$$

- kde  $m$  je hmotnost tělesa,  $\vec{F}_G$  je výsledná gravitační síla na hmotný bod,  $g$  je tíhové zrychlení,  $h_A$  a  $h_B$  je velikost dráhy

Obecný tvar pro potenciální energii tak je:

$$E_p = m g h \quad (3.4)$$

Následkem vzájemného silového působení si tělesa navzájem mechanickou energii neustále předávají – uskutečňuje se přenos energie. Při změně polohy tělesa v silovém poli se mění

jedna forma mechanické energie v druhou. Děj, při kterém dochází k přenosu mechanické energie nebo k přeměně jedné její formy v druhou se nazývá mechanická práce.

Zákon zachování energie říká, že energie je schopna měnit se z jednoho druhu na jiný, nelze ji však vytvořit ani zničit. V uzavřené soustavě však její celkové množství zůstává stejné. Součet velikosti práce a velikosti vydaného tepla, které pole vykoná, se rovná úbytku jeho energie, která se přemění v jinou formu. Jinými slovy součet potenciální a kinetické energie v libovolných dvou stavech konzervativního systému je stejný. Mechanická energie v konzervativních systémech se zachová. [2]

$$\Delta E_k = -\Delta E_p \quad (3.5)$$

$$E = E_k + E_p = \text{konst.} \quad (3.6)$$

## 3.2 Gravitační pole

### 3.2.1 Teorie gravitačního pole

Každá dvě hmotná tělesa na sebe působí vzájemnou přitažlivou silou. Tato síla se nazývá gravitační síla. Gravitační síla určuje nejen pohyb předmětů v okolí Země, ale také pohyb planet, hvězd i družic. Gravitačním polem se tak myslí prostor kolem hmoty (bod, těleso nebo soustava těles), ve kterém se projevují tyto silové účinky. Intenzita gravitačního pole je vektorová veličina stejného směru jako gravitační síla, která udává podíl gravitační síly působící na hmotný bod s hmotností tohoto bodu. [3]

Tyto poznatky formuloval matematicky v 17. století anglický fyzik, matematik a astronom Sir **Isaac Newton** (1643-1727), které odvodil na základě empirických Keplerových zákonů, popisujících pohyb planet Sluneční soustavy.

### 3.2.2 Keplerovy zákony

V 17. století německý matematik, astronom a astrolog **Johannes Kepler** (1571-1630) stanovil na základě pozorování od svého učitele Tycho de Brahe (1546-1601) tři fyzikální zákony popisující pohyb planet kolem Slunce, které dnes nazýváme Keplerovy zákony.

1. Planety se pohybují kolem Slunce po elipsách málo odlišných od kružnic, v jejichž společném ohnisku je Slunce.
2. Plochy opsané průvodičem planety za jednotku času jsou konstantní.
3. Podíl druhých mocnin oběžných dob dvou planet se rovná podílu třetích mocnin jejich hlavních poloos.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{r_1^3}{r_2^3} \quad (3.7)$$

- kde  $T_1, T_2$  jsou oběžné doby dvou planet a  $r_1, r_2$  jsou poloměry kruhových drah na místě velkých poloos
- Z prvního Keplerova zákona plyne, že trajektorie, vektor rychlosti a zrychlení pohybu, v níž leží i Slunce leží v jedné rovině. Trajektorií pohybu je rovinná křivka (elipsa). Roviny trajektorií všech planet procházejí středem Slunce.
- Z druhého Keplerova zákona plyne, že pokud je planeta blíže Slunci, pohybuje se vůči Slunci rychleji a naopak.
- Ze třetího Keplerova zákona plyne, že pokud je známa doba oběhu jedné planety, lze stanovit doba oběhu všech planet.

První dva zákony byly objeveny Keplerem během jeho pobytu v Praze a vytištěny roku 1609 v jeho díle *Astronomia nova*, třetí zákon publikoval roku 1619 v díle *Harmonices Mundi*. [3]

### 3.2.3 Newtonův gravitační zákon

Základním předpokladem odvození tohoto zákona byl fakt, že planety opisují kruhovou dráhu. Keplerovy zákony platí nezávisle na její výstřednosti pro každou elipsu, tedy i pro výstřednost nulovou (kružnici). Planety se musí pohybovat po kruhové dráze rovnoměrně a výsledné zrychlení musí směřovat ke Slunci (do středu kružnice). Gravitační síla je tedy silou dostředivou, kterou působí Slunce na planetu.

$$F_g = m a_n \quad (3.8)$$

- kde  $F_g$  je gravitační síla,  $m$  je hmotnost planety a  $a_n$  její dostředivé zrychlení

Závislost dostředivého zrychlení planet při oběhu kolem Slunce je nepřímo úměrné čtverci vzdálenosti od Slunce:

$$a_n = \frac{k}{r^2} \quad (3.9)$$

- kde  $a_n$  je dostředivé zrychlení,  $r$  je poloměr kruhové dráhy a konstanta  $k$ , je pro všechny planety stejná

Gravitační síla je tedy přímo úměrná hmotnosti planety a nepřímo úměrná čtvercům vzdálenosti od Slunce. Zároveň planeta musí přitahovat gravitační silou  $F_g'$ , která je podobně úměrná hmotnosti Slunce a nepřímo úměrná čtverci jejich vzdálenosti.

$$F_g' = k' \cdot \frac{m}{r^2} \quad (3.10)$$

$$F_g = k \cdot \frac{m}{r^2} \quad (3.11)$$

- kde  $M$  je hmotnost Slunce,  $m$  hmotnost planety,  $F_g'$  je gravitační síla Slunce,  $F_g$  je gravitační síla planety, konstanta  $k$  závisující pouze na vlastnostech Slunce a  $k'$  je konstanta závisující pouze na vlastnostech planety [3]

Pokud se tyto dvě rovnice dají do rovnosti, vznikne nám poměr, který je pro všechny případy gravitačních sil stejný. Poměr nezávisí ani na vlastnostech Slunce, ani na vlastnostech planety. Tento poměr se nazývá Newtonova gravitační konstanta a značí se řeckým písmenem  $\kappa$  (kappa). Tato gravitační konstanta byla zjištěna experimentálně. Vzájemné gravitační působení je relativně velmi slabé a může být změřeno jen za pomoci velmi citlivých metod, jako byla měření britským fyzikem a chemikem **Henrym Cavendishem** (1731-1810) torzními vahami, který též jako první přesně vypočítal hmotnost Země (5,973 zettatun). [10]

$$\kappa = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ kg}^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2}$$

Gravitační zákon, který zobecnil I. Newton pro dvě libovolná tělesa říká, že gravitační síla je přímo úměrná součinu jejich hmotností a nepřímo úměrná čtverci vzdálenosti mezi nimi. [3]

$$F = -\kappa \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3.12)$$

### 3.2.4 Vlastnosti gravitačního pole

Pouze gravitační síla nestačí k úplnému popisu gravitačního pole v nějakém prostoru. Velikost gravitační síly závisí na tom, jaké těleso k testování použijeme (měření jablka v malé výšce, měření kosmické sondy ve větší výšce). **Intenzita gravitačního pole** je vektorová veličina a je dána podílem gravitační síly, kterou působí pole na těleso a hmotností tohoto tělesa.

$$\vec{K} = \frac{\vec{F}_g}{m} \quad (3.13)$$

- kde  $\vec{K}$  je intenzita gravitačního pole,  $\vec{F}_g$  je gravitační síla a  $m$  hmotnost tělesa

Podle definice a podle Newtonova zákona síly vyplývá, že intenzita gravitačního pole v daném bodě je totožná s **gravitačním zrychlením**. Největší intenzity je dosaženo na povrchu koule a s přiblížením do středu koule klesá. V samotném středu je intenzita rovna nule. Pojem intenzita má význam i v jiných polích např. magnetickém, elektrostatickém apod. **Gravitační potenciál** je na rozdíl od intenzity gravitačního pole skalární fyzikální veličinou určující potenciální energii tělesa o určité hmotnosti.

$$\varphi = \frac{E_p}{m} = g h \quad (3.14)$$

- kde  $\varphi$  je gravitační potenciál,  $E_p$  je potenciální energie,  $m$  hmotnost tělesa,  $g$  je gravitační zrychlení a  $h$  je velikost dráhy

Vektor intenzity gravitačního pole se rovná vektoru zápornému gradientu potenciálu. Odvozený vztah vytváří vektorové pole gravitační intenzity. Každému bodu tak přiřazuje vektor  $\vec{K}$ . Soustava tří rovnic se zapíše jedinou vektorovou rovnicí, v níž se použije operátor gradient:

$$\vec{K} = -grad \varphi \quad (3.15)$$

- kde  $\vec{K}$  je intenzita gravitačního pole a  $\varphi$  je gravitační potenciál [12]



### 3.2.5 Centrální a homogenní gravitační pole

Ve všech místech gravitačního pole Země působí gravitační síla i intenzita gravitačního pole směrem do středu Země. Gravitační síla působící na těleso je v různých místech tohoto pole odlišná. Takové pole se nazývá centrální gravitační pole. Centrální gravitační pole je v okolí každého stejnorodého tělesa tvaru koule, tedy i kolem Země, kterou lze považovat za stejnorodou kouli. Velikost intenzity gravitačního pole se s rostoucí výškou nad povrchem Země zmenšuje. Působí-li v jednom místě gravitační pole více těles, jejich intenzity se v daném místě budou vektorově sčítat.

Jestliže se sleduje pohyb jakéhokoli tělesa v blízkosti povrchu Země, lze gravitační pole považovat za homogenní, protože se velikost i směr intenzity gravitačního pole mění velice málo. Homogenní gravitační pole je tedy vyjádřeno tím, že ve všech místech gravitačního pole se nachází stejně veliká intenzita gravitačního pole. Velikost intenzity gravitačního pole lze považovat za konstantní do několika set metrů od povrchu Země. [12]

### 3.2.6 Tíhové pole

Na povrchu Země na těleso působí síla gravitační a síla související s otáčivým pohybem země. Výslednice těchto dvou sil se nazývá tíhová síla, která uděluje tělesu zrychlení volného pádu.

$$F_G = m g = F_g + F_o \quad (3.16)$$

- kde  $F_G$  je tíhová síla,  $m$  je hmotnost tělesa,  $g$  je tíhové zrychlení,  $F_g$  je gravitační síla a  $F_o$  je odstředivá síla

Tíhové pole je prostor při povrchu Země (silové pole) vytvářené gravitačním polem a působením vznikají setrvační síly vznikajících v důsledku rotace Země. Tíhové zrychlení závisí na zeměpisné šířce. Největší odstředivá síla je v oblasti rovníku a tíhová síla je nejmenší. Tíhové zrychlení je tak na rovníku minimální. V oblasti pólů je setrvačná síla nulová a tíha se tak rovná síle setrvačné. Tíhové zrychlení je na pólech maximální. Jelikož odchylky tíhové síly jsou relativně malé, je zavedeno normální tíhové zrychlení jako aritmetický průměr maximálního a minimálního tíhového zrychlení ( $9,806\ 65\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ). [13]

Na rovníku:  $g = 9,7805\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Na pólu:  $g = 9,8322\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

### 3.2.7 Pohyb v gravitačním poli

Základním a nejjednodušším pohybem v homogenním tíhovém poli Země je **volný pád**. Tento pohyb je způsobený tíhovou silou, která je popsána v kapitole 3.2.6 Tíhové pole. Volný pád je rovnoměrně zrychlený přímočarý pohyb se zrychlením rovným gravitačnímu zrychlení směřujícím svisle dolů do středu Země. Při volném pádu se gravitační potenciální energie mění na kinetickou energii tělesa. V homogenním tíhovém poli Země se dále dají pozorovat složené pohyby skládající se z volného pádu a rovnoměrné přímočarého pohybu.

- **svislý vrh vzhůru** (volný pád + rovnoměrně přímočarý pohyb směrem vzhůru)
- **svislý vrh dolů** (volný pád + rovnoměrně přímočarý pohyb směrem dolů)
- **vodorovný vrh** (volný pád + rovnoměrně přímočarý pohyb, který má směr pohybu vodorovně se Zemí, trajektorie je částí paraboly)
- **šikmý vrh** (volný pád + rovnoměrně přímočarý pohyb, který má směr pohybu šikmo k povrchu Země) [13]

### 3.2.8 Pohyb družic v okolí Země

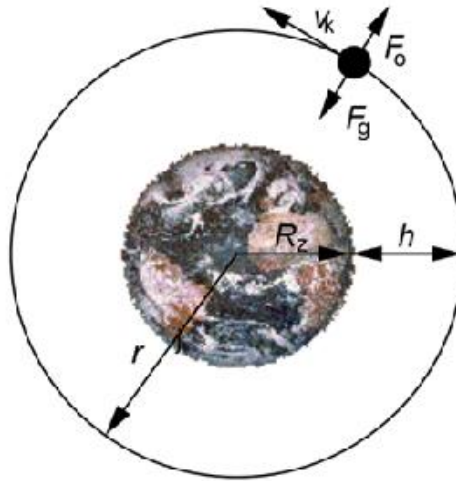
U pohybů družic, raket nebo kosmických lodí již nelze počítat v homogenním tíhovém poli, ale v centrálním (radiálním) poli. Trajektorie družice závisí na její rychlosti. Poměrně malá počáteční rychlost tělesa se pohybuje po části elipsy, než narazí na povrch Země. Část elipsy se zvětšuje s rychlostí tělesa. Při větších rychlostech už těleso na zemský povrch nedopadne, ale opíše celou její elipsu. Potřebná rychlost, která je nutná k překonání gravitačního působení kosmického tělesa se nazývá kosmická rychlost.

#### 1. kosmická rychlost (kruhová rychlost)

Těleso opisuje kružnici se středem ve středu Země. Na těleso působí gravitační a odstředivá síla. Tyto dvě síly jsou v rovnováze. Velikost kruhové rychlosti v dané výšce nad povrchem Země je pro všechny tělesa stejná a rychlost s rostoucí výškou klesá.

$$\kappa \frac{m M_z}{(R_z + h)^2} = \frac{m v_k^2}{R_z + h} \Rightarrow v_k = \sqrt{\frac{\kappa M_z}{R_z + h}} \quad (3.17)$$

- kde  $\kappa$  je gravitační konstanta,  $m$  je hmotnost tělesa,  $M_z$  je hmotnost Země,  $R_z$  je poloměr Země,  $h$  je výška nad povrchem Země a  $v_k$  je kruhová rychlost [14]



Obr. č. 1: Znárodnění směru sil a vzdáleností družice od zeměkoule [15]

Zanedbáme-li výšku  $h$ , tak bude po výpočtu kruhové rychlosti vycházet rychlost  $v_k = 7,912 \text{ km/s}$ . Velikost první kosmické rychlosti závisí na hmotnosti planety (např. Měsíc  $1,68 \text{ km/s}$ , Venuše  $10,25 \text{ km/s}$ , Jupiter  $59,81 \text{ km/s}$ , Slunce  $611,50 \text{ km/s}$ ). [15]

## 2. kosmická rychlost (parabolická/úniková rychlost)

Při vyšších rychlostech těleso přechází na pohyb kolem Země po elipse, a to až do rychlosti  $v_p$ . Jedná se o rychlost potřebnou k tomu, aby družice opustila gravitační pole Země. Nejmenší vzdálenost, které má těleso od Země se nazývá perigeum a největší vzdálenost, které má těleso od Země se nazývá apogeum. Čím je rychlost vyšší, tím je elipsa protáhlejší. Při počáteční rychlosti  $v_p = 11,189 \text{ km/s}$  se eliptická trajektorie mění na parabolickou a těleso se trvale vzdaluje od Země.

$$v_p = v_k \sqrt{2} \quad (3.18)$$

- kde  $v_p$  je rychlost (druhá kosmická rychlost),  $v_k$  je kruhová rychlost (první kosmická rychlost)

## 3. kosmická rychlost

Než těleso dosáhne třetí kosmické rychlosti, tak se stále pohybuje v gravitačním poli Slunce. Po výpočtu kruhové a parabolické rychlosti ve vzdálenosti Země a Slunce dosáhne těleso třetí kosmické rychlosti  $v = 42,13 \text{ km/s}$  a opouští gravitační pole Slunce. Jestliže se využije oběžné rychlosti planety Země ( $29,79 \text{ km/s}$ ), pak je dodatečná potřebná rychlost  $12,34 \text{ km/s}$ . Družici se ovšem ještě musí dodat energie na překonání gravitační síly Země. Třetí kosmická rychlost při startu ze zemského povrchu je tedy  $16,66 \text{ km/s}$ . [16]

## 3.3 Magnetické pole

### 3.3.1 Magnety

Ve 12. století objevili Číňané kousky nerostů s oxidy železa, které při zachycení na nit směřovaly vždy k severu. Tyto přirozené magnety sloužily nejdříve k věštění, ale brzy je začali používat námořníci jako primitivní kompas. Později se kompas vytvářely z tyčí měkkého železa nastavených severojižním směrem, do kterých se zasáhlo jiným magnetem. Magnetka kompasu směřuje k severu, protože se Země chová, jako by měla podél své osy velký tyčový magnet. Tento jev poprvé, v roce 1600, zaznamenal anglický geofyzik **William Gilbert** (1544-1603). [4]

V přírodě se nacházejí látky, jako jsou např. železná ruda magnetovec ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), pyrit ( $6 \text{FeS} \cdot \text{Fe}_2\text{S}_3$ ), maghemit ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) apod. Tyto nerosty mají tu vlastnost, že jsou schopny přitahovat v jejich blízkosti nacházející se úlomky drobných železných pilin. Látce s touto vlastností se říká magnet. První přirozené magnety byly nalezeny v okolí města Magnézia v Malé Asii. Tato vlastnost se dá vhodným způsobem přenést na železné nebo ocelové tyče. Přenesení této vlastnosti se pojmenovalo zmagnetizování. Při zmagnetování železné tyče se v nejvyšší míře projevují přitažlivé účinky na železné piliny na koncích (pólech magnetu). Jestliže se vezmou dva stejné tyčové magnety a přiblíží se k sobě na jejich koncích, budou se přitahovat nebo odpuzovat. Když se jeden magnet zavěsí tak, aby byl ve vodorovné poloze, magnet se postaví přibližně ve směru sever-jih a vždy bude jeden konec směřovat buďto na sever (severní pól) nebo na jih (jižní pól). Severní pól se označuje kladným znaménkem a jižní pól záporným znaménkem. Označením povahy pólů dvou magnetů N (north) a S (south) mohou nastat dva druhy silových účinků.

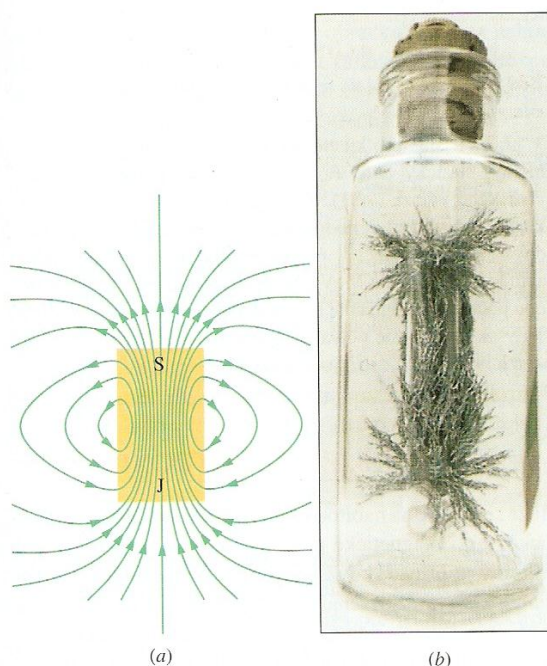
Rovnoměrné póly: N – N a S – S  $\Rightarrow$  magnety se odpuzují

Nerovnoměrné póly: N – S a S – N  $\Rightarrow$  magnety se přitahují

Když se tyčový magnet rozlomí, vzniknou dva magnety, které budou mít znovu na svých koncích severní a jižní pól. Magnetické póly tedy nelze od sebe oddělit. Jestliže se do blízkosti magnetu vloží tyč z měkkého železa, tyč se zmagnetuje a obrátí se její polarity. Když se tyč z měkkého železa od magnetu vzdálí, magnetický stav zmizí. V okolí magnetu se projevují silové účinky v různých velikostech a směrech, tyto jevy se pozorují v tzv. magnetickém poli. Látce, jako je např. kalená ocel, se i při oddálení magnetu zachovává její

magnetický stav. Tato látka se nazývá permanentním magnetem (samarium-kobaltové, alnico, neodymové magnety ze vzácných zemin). [5]

Pro znázornění magnetického pole se používají magnetické indukční čáry. Indukční čáry procházející magnetem vytvářejí uzavřené křivky. Nejsilnější magnetické pole tyčového magnetu vzniká kolem jeho konců, na těchto koncích jsou indukční čáry nej hustší. Magnetické indukční čáry vycházejí ze severního pólu magnetu a vcházejí do jižního pólu. [6]



**Obr. č. 2:** (a) Indukční čáry tyčového magnetu. (b) Tyčový magnet obalený železnými pilinami v uzavřené nádobě. [6]

### 3.3.2 Vlastnosti magnetů

**Magnetická indukce** je vektorová veličina, která popisuje silové účinky magnetického pole na pohybující se částice s nábojem. Účinek magnetické indukce se snižuje s rostoucí vzdáleností od magnetu. Jednotkou magnetické indukce je tesla ( $N \cdot s^{-1} \cdot A^{-1}$ ).

$$\vec{F}_m = Q\vec{v} \times \vec{B} \quad (3.19)$$

- kde  $\vec{F}_m$  je magnetická síla,  $Q$  je bodový náboj pohybující se rychlostí  $\vec{v}$  a  $\vec{B}$  je magnetická indukce

**Magnetický indukční tok** je vektorová veličina, která popisuje počet indukčních siločar magnetického pole procházejících plochou, kolmou na směr orientace siločar. Jednotkou magnetického indukčního toku je weber. Pro vyjádření rovnice se definuje magnetický indukční tok v integrálním tvaru:

$$\Phi = \int_{(S)} \vec{B} \cdot d\vec{S} \quad (3.20)$$

- kde  $\Phi$  je magnetický tok,  $\vec{B}$  je magnetická indukce a  $d\vec{S}$  je plocha

**Intenzita magnetického pole** je vektorová veličina, která popisuje míru silových účinků magnetického pole. Na rozdíl od magnetické indukce nezahrnuje vliv vázaných magnetických proudů prostředí, ve kterém je magnetické pole vytvářeno. Jednotkou intenzity magnetického pole je Ampér na metr. Pro vyjádření rovnice se definuje intenzita magnetického pole ve vektorovém tvaru:

$$\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M} \quad (3.21)$$

- kde  $\vec{H}$  je intenzita magnetického pole  $\vec{B}$  je magnetická indukce,  $\mu_0$  je permeabilita prostředí (vakua) a  $\vec{M}$  je magnetizace [7]

Další charakteristickou vlastností magnetického pole je skalární fyzikální veličina **permeabilita prostředí**  $\mu$ , kterou zavedl **J. C. Maxwell**. Definována jako podíl magnetické indukce a intenzity magnetického pole. Pro vakuum vyplývá z teorie:

$$\mu_0 = \frac{1}{\epsilon_0 c^2} = 4\pi 10^{-7} [Hm^{-1}] \quad (3.22)$$

- kde  $\mu_0$  je permeabilita prostředí (vakua),  $\epsilon_0$  je permitivita prostředí (vakua),  $c$  je rychlost světla ve vakuu

Podle uspořádání elektronů v atomu, velikosti a orientace magnetické síly se druhy látek dělí do tří hlavních skupin:

- **Diamagnetické látky** magnetické pole zeslabují ( $\mu_r < 1$ ). Mezi magnetika tohoto typu patří inertní plyny (He, Ne, Ar, Kr, Xe, Ra), organické sloučeniny, voda a některé kovy (Cu, Ag, Au, Hg, Bi). Permeabilita vody je  $\mu_r = 0,999\ 991\ Hm^{-1}$ .
- **Paramagnetické látky** mírně zesilují magnetické pole ( $\mu_r > 1$ ). Mezi magnetika tohoto typu patří např. Al, Mn, Cr, Pt, Pd, Ti, Na, K. Permeabilita hliníku je  $\mu_r = 1,000\ 022\ Hm^{-1}$
- **Feromagnetické látky** značně zesilují magnetické pole ( $\mu_r \gg 1$ ). Mezi magnetika tohoto typu patří např. Fe, Ni, Co, Gd a jejich slitiny. Permeabilita oceli je  $\mu_r = 8000\ Hm^{-1}$ . [17]

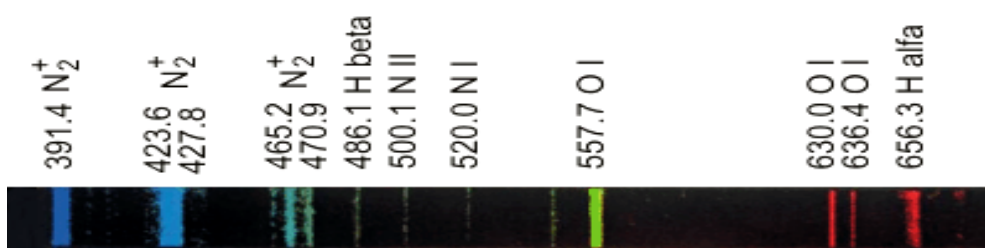
### 3.3.3 Magnetické pole Země

Americký vědec zkoumající vesmír **James Van Allen** (1914-2006) realizoval výzkum týkající se magnetického pole Země. Prosadil se, aby na družicích Explorer 1 a Explorer 3 byly posazeny Geigrovy počítače pro detekci kosmického záření. Explorer 1 zjistil, že Země je obklopena tzv. magnetosférou. Uvnitř této sféry jsou dva soustředné prstence složené z protonů a elektronů, kterým se říká na počest vědce Van Allenovy radiační pásy. Kdykoliv nastane velká erupce na Slunci, jsou tyto pásy syceny částicemi pocházejícími z velmi hustých slunečních větrů. Těmito slunečními erupcemi je magnetosféra ovlivňována, prstence magnetosféry se pod tlakem solárních větrů deformují. Na straně přivrácené ke Slunci se pásy mohou natáhnout na desetinásobek průměru zeměkoule, na straně opačné až na osmdesátinásobek. Erupce se skládají z částic ze silných tepelných pohybů. Dokáží se dostat z vlivu magnetické přitažlivosti a odpoutat se od Slunce. Tyto sluneční částice, zpravidla elektrony, letí prostorem rychlostí až 1000 km/s. Jestliže částice dorazí k zemské magnetosféře, jsou odkloněny siločarami magnetického pole ve spolupráci s ionizovanými částicemi horních vrstev atmosféry. V tom okamžiku začnou vysílat fotony a to co bylo až do té doby naprosto neviditelným jevem, stane se jevem viditelným v podobě polární záře. [18]

### 3.3.4 Polární záře

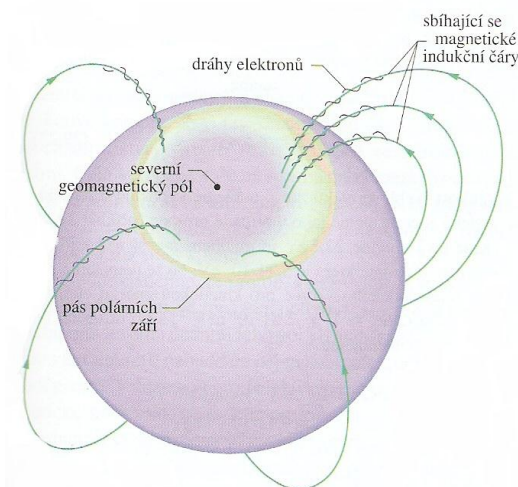
Polární záře je přírodní úkaz, který se vyskytuje u severního (Aurora Borealis) a jižního (Aurora Australis) geomagnetického pólu Země. Určujícím faktorem pro vznik polární záře je

intenzita slunečního větru. Jestliže nastane sluneční erupce, která vymrští četné množství protonů, elektronů a jader atomů hélia a dorazí k Van Allenovým radiačním pásům, vznikne v místech, kde se elektrony odrážejí, elektrické pole. Toto pole ruší odraz a pohání elektrony dále do atmosféry, kde se srážejí s atomy a molekulami kyslíku a dusíku. Tímto vyvolávají záření. Vlnová délka se odlišuje podle toho, na jaký atom částice narazí. V pozorovatelném světle jde o vlnové délky 557,7 nm (zelená) a 630 nm (červená), které vznikají z atomů kyslíku. Dále také z molekul dusíku o délce 391,4 nm (fialová) a 423,6 nm (modrá).



Obr. č. 3: Spektrální čáry v polární záři. [19]

Polární záře se vyskytuje ve výškách 100 – 1 000 km nad zemským povrchem. Jak Nad touto výškou je atmosféra příliš řídká a pod touto výškou je atmosféra příliš hustá pro vznik polárních září. V našich zeměpisných šířkách lze vidět polární záři nad severním obzorem, které většinou nepřekonají práh barevného vidění a projevují se jen bílou září. Polární záře vzniklá velkými geomagnetickými bouřemi (slunečními větry) mohou mít i nepříjemné důsledky, které se projevují narušením zemské ionosféry. Ta je zodpovědná za odrazy elektromagnetických vln a může tak narušit komunikaci (radiové spojení, mobilní telefony, televize) se satelity na oběžné dráze kolem Země. [6,19]



Obr. č. 4: Pás polárních září obklopující magnetický severní pól Země. [6]



## 3.4 Elektrické pole

### 3.4.1 Historie elektrického pole

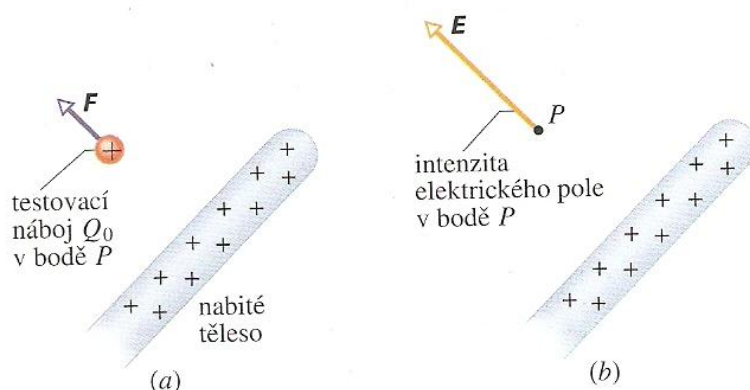
Obecně elektrické a magnetické jevy byly náhodně pozorovány již ve starověku. První písemné zmínění přináší řecký filozof, matematik a fyzik Thales z Milétu (635-545 př. n. l.), který popsal přitahování těles třeným jantarem. Poznatky byly také získávané v Číně (kompas). Mezi prvními jevy, se kterými se lidstvo setkalo, byl blesk. Elektřina vychází z řeckého slova elektron - jantar. Mezi první novodobé vědce patří **William Gilbert** (1544-1603), který experimentálně pracoval a sestrojil první měřicí přístroj - elektrické versorium, které bylo obdobou kompasu, kde místo zmagnetizované stěelky bylo stébélko (stéblový elektroskop). Elektřinu považoval za hmotné okolí elektrických těles. S touto myšlenkou později pracoval i **M. Faraday** (1791-1867) a **J. C. Maxwell** (1831-1879). Michael Faraday byl anglický fyzik a chemik, který zavedl pojem elektrické pole. Představoval si ho jako prostor kolem nabitého tělesa vyplněný siločárami. Tyto elektrické siločáry jsou myšlené orientované křivky, které znázorňují elektrické pole. Skotský fyzik James Clerk Maxwell prvně zformuloval Faradayovy poznatky v rovnicích, které byly podle něj pojmenovány. Tyto rovnice vyjadřují souvislosti mezi elektrickým a magnetickým polem. Francouzský vědec **Charles Augustin Coulomb** (1736-1806), prokázal tvrzení, že odpuzivá síla dvou malých těles, stejně jako zelektrizovaných kuliček, je nepřímo úměrná druhé mocnině vzdálenosti mezi jejich středy. Podobné tvrzení platí i pro přitažlivou sílu dvou opačně zelektrizovaných těles. V prostoru, vyplněném elektrickými náboji, působí síly elektrické povahy. Proto se říká, že v prostoru existuje elektrické pole. Částice s elektrickými náboji stejného znaménka se odpuzují, opačného přitahují. [7]

### 3.4.2 Vlastnosti elektrického pole

Elektrický náboj  $Q$ , je skalární veličina, která charakterizuje vlastnosti těles. Rozlišujeme dva druhy náboje a to je kladný a záporný. Náboj protonu a elektronu se nazývá elementární náboj  $e$  a jeho hodnota je  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C. Platí zde zákon zachování elektrického náboje, kdy elektrický náboj nelze vytvořit ani zničit. V elektricky izolované soustavě těles je celkový elektrický náboj stálý. Elektrické pole obklopují elektricky nabitě částice a časově proměnná magnetická pole. Elektrické pole zobrazuje okolní síly na elektricky nabitě částice působící na

jiných elektricky nabitých objektech. Toto pole je vektorové pole s jednotkami SI (Newton na coulomb, nebo ekvivalentně, volt na metr).

Popsat elektrické pole kolem nabitého tělesa lze např. jako na obr. č. 5(a), kde se do bodu P umístí kladný náboj  $Q_0$ , který se nazve testovací náboj a změří se elektrostatická síla  $F$ , která na něj působí.



**Obr. č. 5:** (a) Testovací náboj v blízkém okolí nabitého tělesa. (b) Intenzita elektrického pole, která je vyvolávána nabitým tělesem. [6]

Elektrické pole se charakterizuje vektorovou veličinou  $\vec{E}$ , která se nazývá intenzita elektrického pole a je definována:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_0} \quad (3.23)$$

- kde  $\vec{E}$  je intenzita elektrického pole,  $\vec{F}$  je síla elektrického pole a  $Q_0$  je elektrický náboj

Síla nebo velikost elektrického pole v daném bodě je definována jako síla, která by působila na kladný testovací náboj 1 Coulomb, umístěný na tomto místě. Směr pole je dán směrem této síly. Je-li tento náboj záporný, má pak elektrická intenzita opačný směr než elektrická síla. I když se pro určení elektrického pole nabitého tělesa používá testovací náboj, tak pole existuje nezávisle na něm. Elektrické pole, které se mění s časem, například v důsledku pohybu nabitých částic v této oblasti, ovlivňuje místní magnetické pole. Elektrická a magnetická pole nejsou zcela oddělené jevy. To znamená, že co jeden pozorovatel vnímá jako elektrické pole, další pozorovatel může v jiném referenčním rámci vnímat jako směs elektrických a magnetických polí. Z toho důvodu jeden mluví o elektromagnetismu nebo o elektromagnetických polích.

Elektrické pole podle **Coulombova zákona** vyjadřuje vztah pro sílu  $F$  v prostoru s nábojem  $Q_1$ , který působí na jiný náboj  $Q_2$  ve vzdálenosti  $r$ . Je to základní zákon elektrostatického pole, který je podobný Keplerovu zákonu a popisuje vzájemné působení dvou bodových nábojů. Uvažují-li se dvě nabitá tělesa, jejichž rozměry jsou zanedbatelné vzhledem k jejich vzdálenostem a vzájemné silové působení mezi nimi. Tento předpoklad o rozměrech umožňuje zanedbat způsob rozložení náboje na tělese a zavést pojem bodový náboj. Síla  $F$  směřuje od bodového náboje, je-li náboj  $Q$  kladný, směrem k němu, je-li záporný. Velikost elektrostatické síly pro bodový náboj je podle rovnice:

$$F = \frac{|Q||Q_0|}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (3.24)$$

- kde  $F$  je elektrostatická síla,  $Q_0$  je kladný testovací náboj,  $r$  je vzdálenost od bodového náboje a  $\epsilon_0$  je permitivita prostředí (vakua)

Permitivita prostředí je univerzální fyzikální konstanta, která je rovna  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ m}^{-2} \text{ N}^{-1}$ . Nejčastěji se tato konstanta udává ve  $\text{F m}^{-1}$ , kde Farad je jednotkou kapacity. [2]

Výsledné pole způsobené několika náboji lze najít pomocí principu superpozice. Jestliže se umístí kladný testovací náboj  $Q_0$  do blízkosti  $n$  bodových nábojů  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ , pak je výsledná síla  $F_0$ , kterou působí  $n$  bodových nábojů na testovací náboj rovna:

$$F_0 = F_{01} + F_{02} + \dots + F_{0n} \quad (3.25)$$

Podle rovnice je tedy intenzita elektrického pole v místě testovacího náboje:

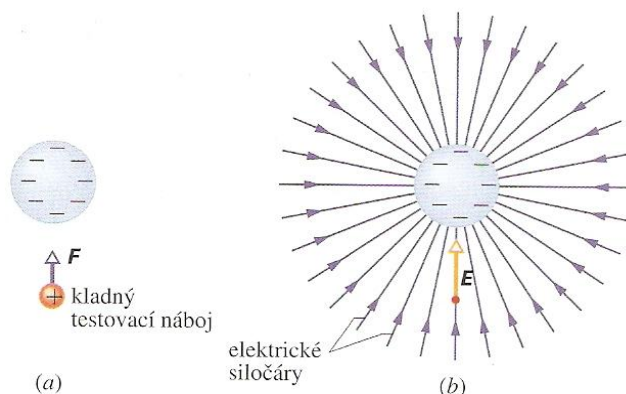
$$E = \frac{F_0}{Q_0} = \frac{F_{01}}{Q_0} + \frac{F_{02}}{Q_0} + \dots + \frac{F_{0n}}{Q_0} = E_1 + E_2 + \dots + E_n \quad (3.26)$$

- kde  $E_i$  je intenzita pole, které by budil osamocený bodový náboj  $Q_0$ . Rovnice je vyjádřením principu superpozice pro intenzitu elektrického pole. [6]

### 3.4.3 Znázornění elektrického pole

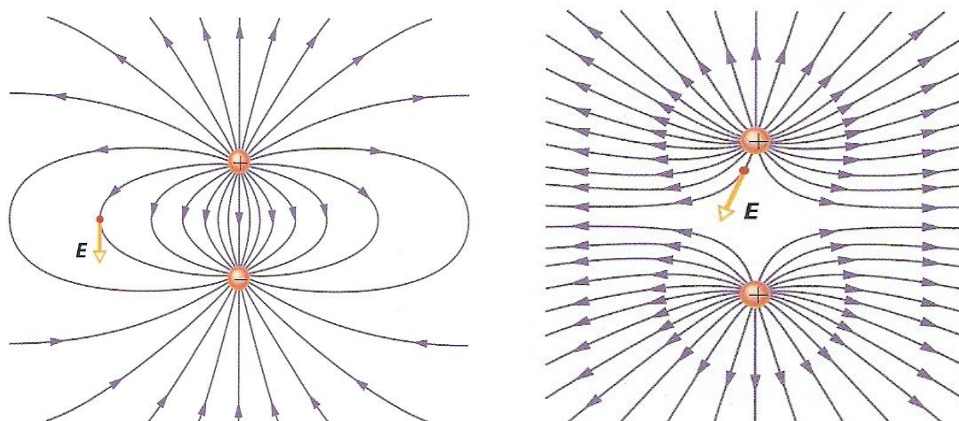
M. Faraday zavedl v 19. století pojem elektrické pole, které si představoval jako prostor kolem nabitého tělesa vyplněný siločárami. Siločáry jsou takové křivky, že v jejich libovolném bodě lze získat vektor elektrické intenzity jako tečnu v daném bodě. Mezi dvěma

rovnoběžnými opačně nabitými deskami vzniká homogenní elektrostatické pole, tj. takové pole, jehož elektrická intenzita má v každém bodě stejný směr a velikost. Siločáry jsou tedy navzájem rovnoběžné.



**Obr. č. 6:** (a) Testovací náboj v blízkosti záporně nabitého tělesa. (b) Elektrické siločáry vedoucí k záporně nabitému tělesu. [6]

Vztah mezi siločárou a vektorem elektrické intenzity může být **kvalitativní** (v každém bodě určuje směr tečny k siločáře směr vektoru  $E$ ), nebo **kvantitativní** (vyjádření směru i velikost elektrické intenzity).



**Obr. č. 7:** (vlevo) Siločáry pole dvou stejně velkých bodových nábojů opačných znamének. (vpravo) Siločáry pole dvou stejně velkých kladně nabitých bodových nábojů. [6]

Jestliže jsou siločáry blízko u sebe, bude elektrické pole silné a naopak pokud budou siločáry daleko od sebe, bude elektrické pole slabé. Z kladných nábojů siločáry vycházejí a v záporných nábojích siločáry končí. Počátek siločár je v nekonečnu nebo v nábojích. Uspořádání na obr. 7 (vlevo) se nazývá elektrický dipól. [6]

## 3.5 Porovnání silových polí

Gravitační a elektrické pole si je podobné v mnoha směrech. V kapitole 3.2.1 Teorie gravitační síly byl již zmíněn Newtonův gravitační zákon, kde hlavním médiem pro toto pole byla hmotnost. U elektrického pole, dle Coulombova zákona, je hlavním médiem elektrický náboj. Působí-li v okolí těchto dvou polí jakkoliv veliké síly, tak účinky těchto sil klesají s druhou mocninou jejich vzdálenosti. Další porovnání silových polí je popsáno v jednotlivých odrážkách:

- Kolem jakého tělesa silová pole působí:

**Gravitační pole** – V okolí každého tělesa existuje gravitační pole, které působí na jiná tělesa.

**Magnetické pole** – působí kolem každého vodiče s proudem, zmagnetovaných těles (permanentní magnety a elektromagnety) a kolem pohybujících se částic s elektrickým nábojem.

**Elektrické pole** – vyskytuje se v okolí každého elektricky nabitého tělesa či částice. Ke vzniku elektrického pole je nutná přítomnost elektrického náboje. Je-li elektrický náboj v klidu, obklopuje ho elektrické pole.

**Závěr:** Elektrické a magnetické pole se často vyskytují společně a navzájem se propojují. Vytvářejí tím pole elektromagnetické.

- Na jaká tělesa silová pole působí:

**Gravitační pole** – Každá dvě tělesa jsou k sobě přitahována silou, kterou se nazývá gravitační síla (viz kapitola 3.2.3 Newtonův gravitační zákon).

**Magnetické pole** – působí na pohybující se částice, popř. tělesa s elektrickým nábojem. Na tělesa zmagnetovaná i nezávisle na tom, zda jsou v klidu, či nikoli.

**Elektrické pole** – působí na tělesa s elektrickým nábojem (tj. elektricky nabitá tělesa či vodiče elektrického náboje). Když má částice nebo těleso elektrický náboj, má schopnost vyvolat silové působení mezi dalším tělesem s elektrickým nábojem.

**Závěr:** Gravitační pole působí na každé těleso, kdežto další zmíněná pole k tomu potřebují těleso se speciálními vlastnostmi.

- Jak se mění účinky silových polí se vzdáleností od zdroje pole:

**Gravitační pole** – Velikost intenzity se s rostoucí vzdáleností od povrchu Země zmenšuje. Nebo se velikost intenzity zmenšuje s druhou mocninou vzdálenosti od středu tělesa.

**Magnetické pole** – Velikost intenzity se s rostoucí vzdáleností od zdroje zmenšuje

**Elektrické pole** – Elektrická intenzita pole, vytvářeného rovnoměrně nabitým tělesem, klesá se vzdáleností od jeho středu díky vlivu poklesu hustoty siločar elektrického pole (u bodového náboje). V homogenním elektrickém poli má intenzita ve všech místech stejnou velikost i směr.

**Závěr:** v tomto bodě mají všechna silová pole podobné vlastnosti.

- Jakou silou pole působí – přitažlivou, odpudivou nebo oběma:

**Gravitační pole** – Silové působení mezi tělesy je vždy vzájemné. Z Newtonova Gravitačního zákona vyplývá, že Dva hmotné body se navzájem přitahují stejně velkými gravitačními silami opačného směru.

**Magnetické pole** – Silové působení je vzájemné a projevuje se přitažlivými a odpudivými účinky. Magnety s opačnými póly se přitahují. U magnetického pole vodičů s elektrickým proudem (elektromagnet) záleží na směru vodivosti proudu. Ty se souhlasným směrem toku proudu se přitahují.

**Elektrické pole** – Souhlasné náboje se odpuzují, opačné přitahují.

**Závěr:** V elektrickém a magnetickém poli pozorujeme účinky přitažlivých i odpudivých sil, ale v gravitačním poli pouze těch přitažlivých.

- Jak dokázat přítomnost silových polí:

**Gravitační pole** – Obecně by se dalo říci, že vrhem nebo volným pádem tělesa

**Magnetické pole** – V nejjednodušším případě magnetkou, tj. magnetem zhotoveným z ocelového plechu a trvale zmagnetovaným (tj. Permanentní magnet)

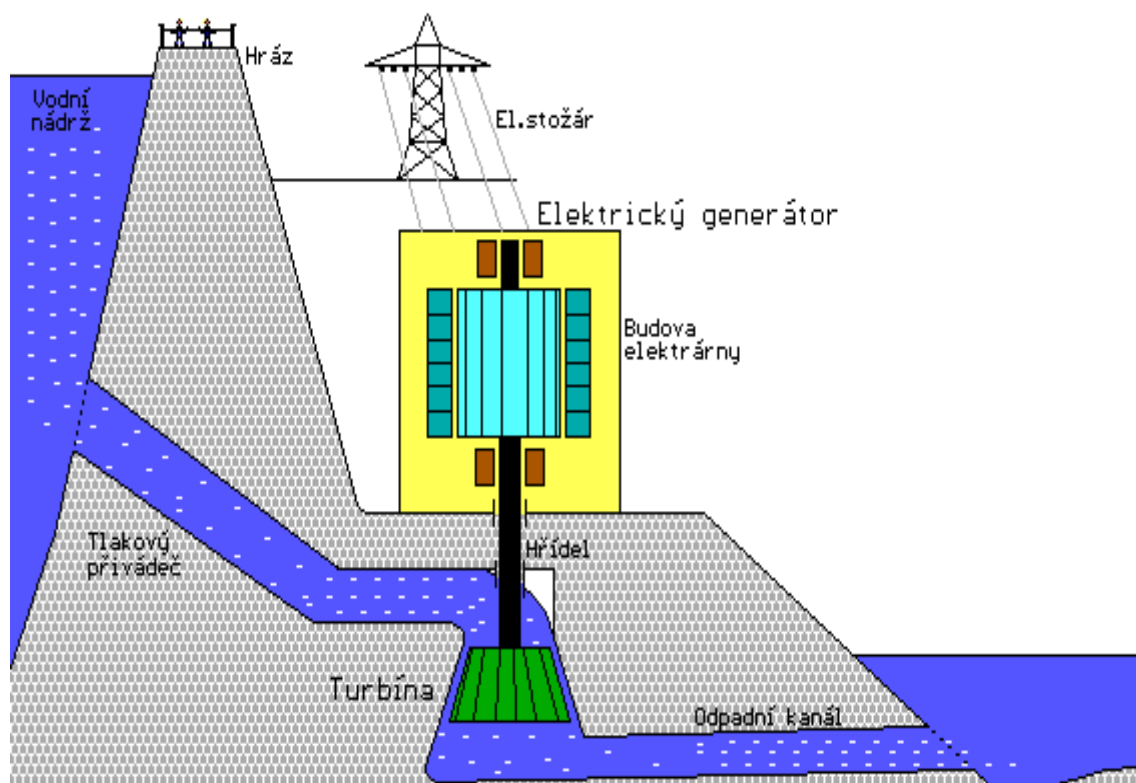
**Elektrické pole** – Elektrický náboj se projevuje přeskokem elektrické jiskry, silovým působením, kdy předmět přitahuje lehké částice (kousky papíru, vlasy, apod.) nebo svalovou křečí

**Závěr:** Přítomnost účinků či výskytu všech těchto polí lze prokázat fyzikálními pokusy. [6;8;9;13]

## 4. Praktické a ekonomické přínosy silových polí

Principu silových polí využívá obrovské množství technologií naší soudobé civilizace. Gravitační síla a pole s ní spojené obstarávají jednu z hlavních složek energetického trhu. Jedná se o spojení více faktorů, a to gravitační účinky propojené s vodou. Základem pro využití energie vodního toku se považují rovnotlaké vodní stroje, které jsou založené na rotačním principu. Jakmile se propojí tyto dva faktory, získá se obnovitelný zdroj elektrické energie. Gravitační energií vody se rozumí energie vody, která byla vyzvednuta do výšky nad mořskou nebo vodní hladinou. Práce, která se vloží do vyzvednutí vody, představuje gravitační energii. Je to potenciální energie, protože tato energie může být přeměněna v pohybovou energii padajícího deště, řek a potoků.

Pro využití těchto zdrojů se budovaly a stále budují vodní stavby, jako jsou přečerpávací stanice. Pomocí této vodní stavby je vytvořen výškový rozdíl mezi hladinou a vodní nádrží, díky čemuž je vytvářen takový tlak, který je vhodný k roztočení rotoru přetlakového vodního stroje.



Obr. č. 8: Schéma gravitační přečerpávací stanice [30]

Vodní přečerpávací elektrárny představují typ vodní elektrárny, která si energii v podobě naakumulované vody dokáže sama uložit. Umělá akumulární nádrž se situuje vysoko nad elektrárnu, aby měla potřebný výškový rozdíl. Voda se přečerpává do akumulární nádoby v době, kdy je elektrické energie přebytek, tedy v době mimo energetickou špičku (např. v noci). Nashromážděná voda se pak během dne díky účinku gravitační síly pouští nazpět do toku přes elektrárnu a tím vyrábí potřebnou energii. Tento druh elektrárny je zatím jediným nástrojem, jak se dá uchovat větší množství přebytečné elektrické energie na delší dobu. Díky tomu tak slouží jako schůdný prostředek k tomu, jak snížit ztráty z nevyužité noční energie a jak předejít problémům s výkyvy ve spotřebě elektrické energie resp. v jejím odběru z elektrorozvodné sítě. Voda v oblaku má obecně velkou gravitační energii, proto platí, že čím je výše a čím je jí v oblaku více, tím je výsledná energie vyšší. Velkou výhodou přečerpávacích elektráren je, že dokážou rychle reagovat na výkyvy ve spotřebě energie, dále jsou jednoduché na obsluhu a mají dlouhou životnost (až 100 let).

Uplatnění se také našlo v přímořských ostrovních státech, kde je možné na vhodných místech stavět i mořské přečerpávací elektrárny. V České republice je výkon těchto elektráren v rozmezí 400 - 650 MW. Dle statistik ERÚ (Energetický regulační úřad) je celkový instalovaný výkon těchto zdrojů 1,145 GWh. V průměru se díky vodním elektrárnám ročně vyrobí kolem 2 800 GWh/rok, z toho je 700 GWh vyrobeno vodními přečerpávacími elektrárnami. V energetické bilanci státu nebude tento zdroj hrát přílišnou roli. Voda je však nevyčerpatelným zdrojem čisté energie, který pomalu začíná nahrazovat drahá fosilní paliva a jejich oživování si přeje současná legislativa i dotační politika státu Evropské unie. Díky zákonu o obnovitelných zdrojích energií se zlepšila úvěrová podpora těchto realizací bankami a jejich obnovování bude nadále pokračovat s rostoucí cenou energie. [20;21]

Druh elektrárny	2007	2008	2009	2010	2011
Parní	56 728,2	51 218,8	48 457,4	49 979,7	49 973,0
Jaderné	26 172,1	26 551,0	27 207,8	27 988,2	28 282,6
Paroplynové a plynové	2 472,9	3 112,7	3 225,2	36 00,4	3 955,1
Vodní	2 523,7	2 376,3	2 982,7	3 380,6	2 835,0
Fotovoltaika	1,8	12,9	88,8	615,7	2 118,0
Větrné	125,1	244,7	288,1	335,5	396,8
<b>Celkem [GWh]</b>	<b>88 023,8</b>	<b>83 516,4</b>	<b>82 250,0</b>	<b>85 900,1</b>	<b>87 560,6</b>

Tabulka č. 1: Vývoj výroby elektřiny od roku 2007[21]



	2007	2008	2009	2010	2011
Malé vodní elektrárny do 10 MW	1 001 845	966 884	1 082 683	1 238 819	1 017 878
Vodní elektrárny nad 10 MW	1 077 493	1 057 451	1 346 937	1 550 655	945 276
Větrné elektrárny	125 098	244 661	288 067	335 493	397 003
Fotovoltaika	1 754	12 937	88 807	615 702	2 182 018
Bioplyn + skládkový plyn	182 699	213 632	414 235	598 755	932 576
Biomasa	993 360	1 231 210	1 436 848	1 511 911	1 682 563
Biologicky rozložitelný odpad	11 260	11 684	10 937	35 580	90 190
<b>Celkem [MWh]</b>	<b>3 393 509</b>	<b>3 738 459</b>	<b>4 668 514</b>	<b>5 886 915</b>	<b>7 247 504</b>

Tuzemská spotřeba elektřiny [MWh]	72 045 200	72 049 267	68 600 000	70 961 700	70 516 541
<b>Podíl OZE [%]</b>	<b>4,71%</b>	<b>5,19%</b>	<b>6,81%</b>	<b>8,30%</b>	<b>10,28%</b>

**Tabulka č. 2:** *Výroba elektřiny z OZE (obnovitelných zdrojů energie)[21]*

Gravitační energie se také využívá v technologii svítily GravityLight. Je to nové revoluční osvětlení, které využívá této energie. Za pomoci zvednutí závaží se svítlna připojí ke kabelu. Jak gravitační síla táhne závaží k zemi, tak začne svítit LED světlo. Brzdicí mechanismus způsobuje zpomalení poklesu závaží. Tato svítlna je schopna poskytnout energii pro 30 minutové svícení bez použití jakékoliv baterie. 1,5 miliardy lidí nemá spolehlivý přístup k elektrické síti. Jestliže zapadne Slunce, jsou tito lidé odkázáni na osvětlení na paliva z biomasy, zejména petroleje. Petrolej představuje 10 - 20 % výdaj domácích příjmů. Dále petrolej vyprodukuje ročně až 244 milionů tun CO<sub>2</sub> (oxidu uhličitého). Oproti tomu u gravitační svítily se jedná o zcela čistou energii. Cena gravitační lampy se má vejít při sériové výrobě do 100 Kč. [22]

Názorným příkladem, kde se využívá magnetické pole je např. zdravotnictví. Magnetická rezonance složí k zobrazení vnitřních orgánů lidského těla včetně svalů a vazů. Při této metodě zobrazování se využívá magnetické pole a elektromagnetické vlnění s vysokou frekvencí. Výhodou této metody zobrazení je, že je velmi přesné a probíhá bez škodlivého ionizujícího záření. Vybavení magnetické rezonance je vysoce drahé. Konstrukce soustavy může dosáhnout až k \$500 000 USD. Cena za provedení magnetické rezonance stojí kolem 13 000 Kč např. zobrazení kloubu 8 000 Kč, celá páteř 18 000 Kč. [23]

Dalším praktickým využitím magnetického pole mohou být rychlovlaky. Tyto vlaky mohou dosáhnout rychlosti až 580 km/h. Vlak využívá k pohybu supravodivé magnety na bocích vlaku. Tento vlak se pohybuje v korytu, na jehož stěnách jsou měděné cívky. Po připojení proudu se v cívkách vytvoří magnetické pole a výsledkem je vznášení se vlaku několik centimetrů nad zemí. Hlavními výhodami jsou vysoké dosažené rychlosti, žádné vibrace, možnost vyššího stoupání (5 – 10%), spotřebuje méně energie, protože elektrická energie je napájena jen na té části trati, na které se vlak zrovna nachází. Dále odpadají náklady na udržování trati. Nevýhodami magnetických vlaků jsou nedůvěra v bezpečnost při výpadku elektrické energie, ke svému provozu potřebují vlastní tratě a stanice, musí být neustále připojeny k elektrické energii a výstavba tratí pro elektromagnetické pole vyjde o více než 50 % draž, než při obvyklé výstavbě železnice. O výstavbě těchto magnetických tratí již uvažuje Čína, která chce propojit 1 250 km vzdálená města Šanghaj s Pekingem. Stavba se pohybuje kolem 23 miliard dolarů. Astronomické konstrukční náklady jsou jedinou vážnou překážkou, proč nejsou magnetické rychlodráhy i v dalších vyspělých zemích. [24]

Magnetické účinky elektromagnetického pole jsou velmi rozmanité. Díky magnetickým silám se dají v dnešní době počítačů ukládat velká data na pevný disk. Tento disk zpracovává informace počítačem a ty se ukládají ve formě magnetického záznamu. Ke čtení těchto záznamů a ukládání slouží miniaturní magnetofonová hlava. Tento proces plně nahrazuje dřívější vývojovou stádii a to byly diskety, magnetofonové pásky nebo videokazety, které pracovaly na podobném principu.

Síly elektromagnetu také využívá elektromagnetický jeřáb. Na rameni tohoto jeřábu je zavěšený silný elektromagnet. Tento elektromagnet pracuje, pokud je do cívky zapojený proud. Poté může přitahovat ocelové předměty a přenášet je tak bez dalšího upevňování. S tím souvisí další použití jako je magnetické upínání, kdy se ocelový předmět na obráběcích strojích uchycuje pomocí elektromagnetů, které jsou umístěny pod povrchem desky. [25]

Statická elektřina pracuje díky elektrostatickému náboji, kdy je možné materiály dočasně k sobě spojit. Touto metodou pracuje mnoho výrobních procesů elektrostatického nabíjení. Jsou to např. nabíjecí generátory typu ECM, CM5, nabíjecí tyče typu HD-C, HD-R, nabíjecí elektrody Pinner Flex Tac; Pinner Claw. Generátory ECM je nejmodernější elektronika s možností dálkového ovládní. Tento generátor indikuje přetížení systému nebo jiskření pomocí výstražného světla. Generátory typu CM5 slouží k ovládní napětí a proudu tím, že zajišťují konstantní výkon nabíjení. Jsou schopny vytvářet silné elektrostatické náboje i při

vysokých rychlostech výrobních procesů. Jednotlivé druhy těchto generátorů vychází od 20 000 – 100 000 Kč. Nabíjecí tyče jsou připojeny ke stejnosměrnému vysokonapěťovému generátoru. Díky tomu vzniká silné elektrické pole nasycené ionty, které umožňují, aby došlo ke vzájemnému spojení materiálu. Materiál se nabíjí ionty, a proto se polarity rozdílného náboje přitahují k sobě. Nabíjecí elektrody jsou určeny pro nabíjení malých bodových ploch. Jejich materiál umožňuje použití i při vysokých teplotách. Jednotlivé typy těchto nabíjecích tyčí vychází od 10 000 – 50 000 Kč. [26]

Díky vývoji v používání a jiné aplikaci elektrické energie, byl vynalezen další způsob, jak by se daly řešit problémy v rozvojových zemích s nedostatkem nezávadné pitné vody. Vědci vyvíjejí proces, který by měl zahrnovat elektrodialýzu, změkčování vody a také de-ionizaci mořské vody. Předpokládá se, že by tato metoda mohla výrazně snížit spotřebu a to až o celých 50 %, tedy na 1,5 kWh. S porovnání dosavadních metod pro úpravu mořské slané vody, jako je třeba odpařování, které je energeticky velmi náročné, kdy na výrobu jednoho m<sup>3</sup>, je spotřeba elektrické energie celých 10 kWh, je tento poznatek značně povzbuzující.

Obdobnou metodou, která je rovněž ve fázi testování a výzkumu je čištění odpadních vod pomocí elektrického pole. Metoda bude spočívat v tom, že se pomocí elektrického pole vytvoří z molekul vody hydroxylový radikál (záporně nabitý iont), který tak bude pracovat jako čisticí prostředek. Tento iont je velmi reaktivní, proto je schopný okamžitě vytvářet sloučeniny s uhlíkem. V praxi toto zařízení vypadá tak, že nádoba obsahuje dvě elektrody s opačným nábojem, mezi nimiž se pumpuje znečištěná voda. Na katodě se uvolňuje vodík a na anodě se akumuluje hydroxylový radikál. [27]

## 5. Závěr

Předložená bakalářská práce je literární rešerší se zaměřením na jednotlivé druhy silových polí. V práci byla podrobně rozpracována nosná témata jednotlivých zpracovaných celků, zejména gravitačního, magnetického a elektrického pole. Práce se skládá jak z teoretické části, tak i z praktické a to jako využití těchto silových polí v běžném životě. Pozornost byla věnována zejména historii a vlastnostem těchto silových polí. Kapitola o magnetickém poli Země byla zvláště věnována polárním zářím a to především o jejich vzniku.

Tento přírodní jev byl prvním impulsem pro výběr této práce, který byl dále rozšířen o praktické a ekonomické zhodnocení silových polí. Naplnění tohoto cíle bylo dle mého uvážení dosaženo. V literatuře a v odborných časopisech bylo dostatek údajů k sepsání dané problematiky. Z dostupných zdrojů tak byly charakterizovány typy jednotlivých silových polí.

Tato práce dle mého úsudku přispěje k jednoduché orientaci v dané problematice pro široké okolí. Myslím si, že jsem zpracoval nepřeborné množství materiálů do jednoho celku, který by mohl být pro čtenáře snadnou pomůckou k porozumění působení sil na Zemi. Zároveň poslouží k pochopení, proč jsou tyto jevy pro naši populaci důležité. Práce poukazuje na postupný rozvoj využívání sil a dále naznačuje možný směr, kam se budou poznatky o využívání jak gravitační, magnetické tak i elektrické síly posouvat.

Díky zadání a následnému vypracování tohoto tématu, jsem se zamyslel, co všechno je produktem silových polí. Tímto jsem zjistil, na jakém principu fungují obvyklé věci, které se v běžném denním životě používají. Zjistil jsem, jak se dají ovlivňovat silová pole, a jaké přínosy mohou mít, pokud se lidé budou více zabývat jejich rozvojem.

Principu silových polí využívá ohromné množství technologií naší současné civilizace. Tento přínos je v podstatě nevyčíslitelný. Gravitační síla a pole s ní spojené obstarávají jednu z hlavních složek energetického trhu. Je v zájmu nás všech upřednostňovat používání obnovitelných přírodních zdrojů před neobnovitelnými zdroji, kam patří zejména fosilní paliva. Tím by bylo dosaženo ekologičtějšího a šetrnějšího dopadu pro Zemi a následně i zlepšení životních podmínek pro lidstvo.

## 6. Seznam literatury

### Bibliografické zdroje:

- [1] McGRAW, Hill. *Encyclopedia of Physics*. 2nd. Edition, P. Parker, 1994. 1624 pages. ISBN 0-07-051400-3.
- [2] HOFMANN, Jaroslav, URBANOVÁ, Marie. *Fyzika I*. Verze 1.0. Praha: vydavatelství VŠCHT, 2005. 327 s.
- [3] KLIMEŠ, Bohdan, SLAVÍK B. Josef. *Gravitační pole*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1953. 27 s.
- [4] HUGHES, James. *Velká obrázková všeobecná encyklopedie*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství Václav Svojtka & Co., s.r.o., 2004. 792s. ISBN 80-7237-256-4.
- [5] KNEPPO, Ludovít. *Magnetické pole*. 2. vydání. Bratislava: SVŠT, 1970. 158s.
- [6] HALLIDAY, David, RESNICK Robert a spol. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 3, Elektřina a magnetismus; redakce českého překladu Marian Štrunc, Jan Obdržálek a Petr Dub*. 1. české vydání. Praha: Prometheus, 2000. 578-888 s. ISBN 80-7196-213-9.
- [7] SLÁDKOVÁ, Jarmila, UHDEOVÁ Naděžda. *Elektřina a magnetismus*. 2. opravené vydání. Brno: Vutium, 1999. 148s. ISBN 80-214-1290-9.
- [8] HORÁK, Zdeněk. *Fyzika: příručka pro vysoké školy technického směru. Svazek 2 / Zdeněk Horák, František Krupka*. 3. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1981. 1129 s.
- [9] SVOBODA, Emanuel. *Přehled středoškolské fyziky / Emanuel Svoboda*. 1. vydání Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1991. 588 s. ISBN 80-04-22435-0.

### Internetové zdroje:

- [10] ULLMANN, Vojtěch. *AstroNuklFyzika* [online]. Dostupné z <<http://astronuklfyzika.cz/Gravitace1-2.htm>>.
- [11] SCHAUER, Pavel. *Energie*. [online]. Publikováno 25. 09. 2012. Dostupné z <[http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka\\_schauer/energie.pdf](http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/energie.pdf)>.

- [12] REICHL, Jaroslav, VŠETIČKA, Martin. *Encyklopedie fyziky* [online]. Publikováno 16. 10. 2012. Dostupné z <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/53-gravitacni-pole>>.
- [13] JANDORA, Radek. *Gravitační pole* [online]. Publikováno r. 2000. Dostupné z <<http://radek.jandora.sweb.cz/f12.htm>>.
- [14] VLACHOVÁ. *Pohyby v radiálním gravitačním poli Země* [online]. Vystaveno 01. 08. 2011. Dostupné z <<http://www.soubce.cz/ucitel/vlachova/otazkyFE/5.pdf>>.
- [15] VLACHOVÁ, Magdaléna. *Kosmické rychlosti* [online]. Publikováno r. 2008. Dostupné z <[http://www.techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=477261766974616365h&key=237](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=477261766974616365h&key=237)>.
- [16] ŠULC, Miroslav. *Optika ve službách astronomie* [online]. Publikováno 05. 03. 2011. Dostupné z <<http://www.planetary.cz/2011/03/prvni-druha-a-treti-kosmicka-rychlost/>>.
- [17] KRÁLOVÁ, Magdaléna. *Magnetické látky* [online]. Publikováno r. 2008. Dostupné z <[http://www.techmania.cz/edutorium/art\\_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74f8696e612061206d61676e657469736d7573h&key=444](http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=456c656b74f8696e612061206d61676e657469736d7573h&key=444)>.
- [18] *Cesta do vesmíru*. Polární záře. Nostranau. iVysílání, ČT 2, 20. 02. 2013. [online]. Španělský krátkometrážní dokument z r. 2002. Dostupné z <<http://www.ceskatelevize.cz/ivysilani/10298682310-cesta-do-vesmiru/210572233350036/titulky/>>.
- [19] *Aurora 2002* [online]. Publikováno r. 2002. Dostupné z <[http://www.aldebaran.cz/actions/2002\\_aurora/aurora.html](http://www.aldebaran.cz/actions/2002_aurora/aurora.html)>.
- [20] *Vodní energie* [online]. Publikováno r. 2013. Dostupné z <<http://www.setrime-energie.cz/vodni-energie>>.
- [21] *Energetický regulační úřad* [online]. 26. 06. 2012. Dostupné z <[http://www.eru.cz/user\\_data/files/statistika\\_elektro/rocn\\_i\\_zprava/2011/Rocni\\_zprava\\_ES\\_CR\\_FINAL.pdf](http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/rocn_i_zprava/2011/Rocni_zprava_ES_CR_FINAL.pdf)>.
- [22] *Elektrotrh* [online]. 02. 01. 2013 Dostupné z <<http://www.elektrotrh.cz/osvetlovaci-technika/svitte-si-zadarmo-pomoci-gravitacni-energie>>.

- [23] MLČOCH, Zbyněk. *Magnetická rezonance* [online]. Publikováno 14. 06. 2008. Dostupné z <<http://www.zbynekmlcoch.cz/informace/medicina/nemoci-lecba/magneticka-rezonance-prubeh-vysetreni-princip-indikace>>.
- [24] 21. století. *Budoucnost magnetického polštáře* [online]. Publikováno 21. 04 2004. Dostupné z <<http://21stoleti.cz/blog/2004/02/21/budoucnost-magnetickeho-polstare/>>.
- [25] KUSALA, Jaroslav. *Svět energie* [online]. Publikováno 2003. Dostupné z <<http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/zaj5.htm>>.
- [26] LONSKÝ, Jiří. *Statická elektrina* [online]. Dostupné z <[http://www.lontech.cz/files/vyuziti\\_staticke\\_elektriny\\_-\\_simco\\_nl/nabijeni-specifikace.pdf](http://www.lontech.cz/files/vyuziti_staticke_elektriny_-_simco_nl/nabijeni-specifikace.pdf)>.
- [27] *Scienceworld* [online]. Publikováno 20. 06. 2009. Dostupné z <<http://www.scienceworld.cz/aktuality/odsolovani-cistenivody-elektrickym-polem-4968/>>.
- [28] WEINTRAUB, Rachel. *Aurora Borealis* [online]. 09.16.2005, November 30, 2007 [cit. 2013-03-20]. Dostupné z <[http://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/sept\\_aurora.html](http://www.nasa.gov/vision/universe/solarsystem/sept_aurora.html)>.
- [29] *Aurora Borealis* [online]. [cit. 2013-03-20]. Dostupné z <<http://www.lovethepictures.com/2011/02/24-amazing-auroras-aurora-borealis-aurora-australis/>>.
- [30] SEDLÁČEK, Jiří. *Energie vody* [online]. Publikováno 2004 Dostupné z <[http://ok1zed.sweb.cz/s/el\\_vodniel.htm](http://ok1zed.sweb.cz/s/el_vodniel.htm)>.
- [31] TRŽICKÝ, Tomáš. *Optické úkazy v atmosféře* [online]. [cit. 2013-03-20]. Publikováno 2003. Dostupné z <[http://www.volny.cz/trzicky/foto/image\\_5.jpg](http://www.volny.cz/trzicky/foto/image_5.jpg)>.
- [32] *Flickr* [online]. [cit. 2013-03-20]. Publikováno 2013 Dostupné z <<http://www.flickr.com/photos/csmacdonaldnz/7861511536/in/photostream/>>.

## 7. Seznam obrázků

Obr. č. 1: <i>Znázornění směru sil a vzdáleností družice od zeměkoule [15]</i> .....	12
Obr. č. 2: (a) <i>Indukční čáry tyčového magnetu. (b) Tyčový magnet obalený železnými pilinami v uzavřené nádobě. [6]</i> .....	14
Obr. č. 3: <i>Spektrální čáry v polární záři. [19]</i> .....	17
Obr. č. 4: <i>Pás polárních září obklopující magnetický severní pól Země. [6]</i> .....	17
Obr. č. 5: (a) <i>Testovací náboj v blízkém okolí nabitého tělesa. (b) Intenzita elektrického pole, která je vyvolávána nabitým tělesem. [6]</i> .....	19
Obr. č. 6: (a) <i>Testovací náboj v blízkosti záporně nabitého tělesa. (b) Elektrické siločáry vedoucí k záporně nabitému tělesu. [6]</i> .....	21
Obr. č. 7: (vlevo) <i>Siločáry pole dvou stejně velkých bodových nábojů opačných znamének. (vpravo) Siločáry pole dvou stejně velkých kladně nabitých bodových nábojů. [6]</i> .....	21
Obr. č. 8: <i>Schéma gravitační přečerpávací stanice [30]</i> .....	24



## 8. Přílohy



Barevný pohled na severní polární záři Aurora Borealis odrážející se od hladiny jezera v Kanadě. Ve výškách nad 100 km jsou k vidění odstíny žluto zelené a nachové barvy. [28]



Tanec severní polární záře Aurora Borealis nad norskými Fjordy. [29]



Tento snímek jižní polární záře Aurora Australis bylo možné spatřit na Novém Zélandě v Omaui, Southland 15. července 2012. [32]



Posádka na palubě Mezinárodní vesmírné stanice vyfotografovala tuto noční scenérii. Let byl proveden 390 km nad hladinou moře. V popředí jsou vidět noční světla měst Irska (vlevo dole) a Spojeného království (vpravo dole). Podél horizontu je viditelná Aurora Borealis zelené a fialové barvy. [28]





Tato barevná polární záře byla spatřena ve Finsku. [29]



Z důvodu mohutné geomagnetické bouře bylo možné spatřit polární záři až na území České republiky v Praze kolem 22. hodiny 20. listopadu 2003. [31]