

**Západočeská univerzita v Plzni**

**Fakulta pedagogická**

**katedra obecné fyziky**

**NAUKA O DIELEKTRIKÁCH VE STŘEDOŠKOLSKÉ  
FYZICE A V ZÁKLADNÍM VYSOKOŠKOLSKÉM KURZU**

**Rigorózní práce**

Plzeň, 2010

Mgr. Martin Tomáš

Prohlašuji, že jsem rigorózní práci vypracoval  
samostatně s použitím uvedené literatury a zdrojů  
informací.

V Plzni dne .....

.....

vlastnoruční podpis

Za vynikající vedení, nekonečnou trpělivost a cenné rady při vypracování této rigorózní práce děkuji svému školiteli Doc. Dr. Václavu Havlovi, CSc. Dále bych rád poděkoval a vyslovil uznání všem kolegům z katedry obecné fyziky za jejich ochotu a přátelství. Tato práce by rovněž nevznikla bez podpory mé rodiny.

## **Anotace**

Hlavním cílem práce je shrnutí současných poznatků nauky o dielektrikách do celku, který usnadní výuku tohoto tématu na středních a vysokých školách. Kromě teoretického popisu dielektrik obsahuje práce rovněž návrhy nových demonstračních experimentů s dielektriky a popis výroby nových dielektrických materiálů (kompozitní dielektrika).

Dílčím cílem je vytvoření webové prezentace použitelné ve výuce. Tato prezentace je koncipována jako výukový celek a zároveň může sloužit jako studijní materiál.

Dalším dílčím cílem je demonstrace termodielektrického jevu. Experimentální demonstrace termodielektrického jevu je vhodným rozšířením výuky tématu o dielektrikách. Popis tohoto jevu ale dosud nebyl v českém jazyce k dispozici.

## OBSAH

|          |                                                           |           |
|----------|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Úvod .....</b>                                         | <b>7</b>  |
| <b>2</b> | <b>Obecně didaktická část .....</b>                       | <b>8</b>  |
| 2.1      | Taxonomie výukových cílů .....                            | 10        |
| 2.2      | Taxonomie kognitivních cílů podle B.S. Blooma .....       | 11        |
| 2.3      | Revize Bloomovy taxonomie .....                           | 15        |
| 2.4      | Taxonomie afektivních cílů podle D.B. Kratwohla .....     | 17        |
| 2.5      | Taxonomie psychomotorických cílů podle H. Davea .....     | 19        |
| 2.6      | Výukové metody .....                                      | 21        |
| 2.6.1    | Klasifikace výukových metod .....                         | 21        |
| 2.7      | Učební úlohy .....                                        | 26        |
| <b>3</b> | <b>Obecně psychologická část .....</b>                    | <b>31</b> |
| 3.1      | Kognitivní procesy .....                                  | 32        |
| 3.1.1    | Paměť .....                                               | 32        |
| 3.1.2    | Role paměti ve výuce fyziky .....                         | 35        |
| 3.1.3    | Myšlení .....                                             | 36        |
| 3.1.4    | Role myšlení ve výuce fyziky .....                        | 39        |
| 3.1.5    | Vnímání .....                                             | 40        |
| 3.1.6    | Role vnímání ve výuce fyziky .....                        | 43        |
| 3.1.7    | Pozornost .....                                           | 44        |
| 3.1.8    | Představy .....                                           | 44        |
| 3.1.9    | Role představ ve výuce fyziky .....                       | 46        |
| 3.2      | Psychologie učení .....                                   | 47        |
| 3.3      | Priming .....                                             | 50        |
| <b>4</b> | <b>Fyzikální část .....</b>                               | <b>51</b> |
| 4.1      | Základní veličiny a vztahy v nauce o dielektrikách .....  | 51        |
| 4.1.1    | Elektrostatické veličiny .....                            | 51        |
| 4.1.2    | Depolarizační faktor, lokální elektrické pole .....       | 57        |
| 4.1.3    | Elektrická pevnost dielektrika .....                      | 60        |
| 4.2      | Dielektrikum v proměnném elektrickém poli .....           | 61        |
| 4.2.1    | Komplexní permitivita .....                               | 61        |
| 4.2.2    | Měření frekvenční závislosti dielektrické konstanty ..... | 65        |
| 4.3      | Teplotní závislost dielektrické konstanty .....           | 94        |

|          |                                                                                       |            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.3.1    | Kompozitní dielektrikum .....                                                         | 94         |
| 4.3.2    | Bezbarvý lak .....                                                                    | 97         |
| 4.3.3    | Porcelán .....                                                                        | 100        |
| 4.4      | Termodielektrický jev .....                                                           | 103        |
| 4.5      | Měření termodielektrického jevu .....                                                 | 110        |
| 4.6      | Měření dielektrické konstanty ledu .....                                              | 117        |
| 4.7      | Příspěvek dielektrických měření k rozvoji kritického myšlení .....                    | 124        |
| 4.7.1    | Dielektrická konstanta roztoků .....                                                  | 125        |
| 4.7.2    | Homeopatie .....                                                                      | 129        |
| 4.8      | Flexoelektrický jev .....                                                             | 133        |
| 4.9      | Webová prezentace teoretických a didaktických poznatků nauky o<br>dielektrikách ..... | 135        |
| 4.9.1    | Hlavní stránka webové prezentace .....                                                | 135        |
| 4.9.2    | Jednotlivé stránky webové prezentace .....                                            | 136        |
| <b>5</b> | <b>Závěr .....</b>                                                                    | <b>139</b> |
| <b>6</b> | <b>Použitá literatura .....</b>                                                       | <b>141</b> |
|          | <b>Příloha A .....</b>                                                                | <b>144</b> |
|          | <b>Abstract .....</b>                                                                 | <b>146</b> |

# 1 Úvod

Výuka fyziky prodělala v posledních letech výrazné změny, které se odrazily ve výběru témat vyučovaných na základních a středních školách. V souvislosti s Boloňským procesem můžeme pozorovat změny i v základním vysokoškolském kurzu. Nauka o dielektrikách nebyla nikdy atraktivním tématem. Obecně můžeme říci, že celá oblast fyziky zabývající se elektřinou a magnetismem je žáky hodnocena jako nejobtížnější a nejméně oblíbená. Přestože nauka o dielektrikách patří mezi klasická témata fyziky, ve výuce bývá často opomíjena. Přitom se jedná o velmi rozsáhlou a dobře prozkoumanou oblast fyziky, kterou se zabývali významní vědci své doby – Onsager, Kirkwood, Debye či Eyring. Dielektrika patří mezi materiály, se kterými se setkáváme každodenně. Mezi dielektrika patří tak běžné látky, jako je voda, papír, sklo apod. Je tedy zřejmé, jak důležité je pochopení základních vlastností těchto materiálů. Hlavním cílem mé práce je shrnutí současných poznatků této nauky do komplexního celku, který by mohl být využit jednak při práci učitele a zároveň jako učební celek pro samostatné studium. Dále se pokusím popsat a realizovat nové či méně známé experimenty s dielektriky a posoudit jejich možné zařazení do výuky. U dílčích kapitol se snažím diskutovat možné mezipředmětové vazby, které jsou z hlediska výuky žádoucí. S ohledem na současné finanční možnosti škol jsem využil pouze levných a dostupných materiálů.

Dílčím cílem práce je vytvoření webové prezentace, která nauku o dielektrikách vhodným způsobem shrne a volně zpřístupní. Obsah webové prezentace umožní zefektivnění výuky. V současnosti můžeme na internetu nalézt mnoho stránek věnujících se různým fyzikálním tématům. Stránky věnované pouze vlastnostem dielektrik a experimentům s těmito materiály však dosud nebyly k dispozici. V současnosti jsou ve výuce hojně využívány multimediální prezentace. Obsahem vytvořených webových stránek jsou i multimediální prezentace, které mohou být využity jako doplnění studia či jako samostatný výukový celek pro potřeby učitele.

Zajímavým tématem je termodielektrický jev. Tento jev byl objeven ve 40. letech minulého století, přesto není dodnes definitivně vysvětlen. Protože se jedná o jev spojený s vlastnostmi dielektrik, pokusil jsem se vytvořit experiment, který by existenci tohoto jevu dokazoval. Dalším cílem mé práce je proto experimentální potvrzení a teoretický popis termodielektrického jevu.

## 2 Obecně didaktická část

Didaktika je pedagogický obor, který se zabývá vzděláváním a vyučováním. Didaktiku můžeme definovat jako teorii vzdělávání a vyučování. Jedná se tedy o nástroj učitele, pomocí kterého se snaží svoji výuku zefektivnit. Didaktika se dále člení podle oboru působnosti. Vedle obecné didaktiky, která studuje obecné zákonitosti vzdělávacího procesu, byly vytvořeny i speciální didaktiky, věnované vyučování jednotlivých předmětů. Ve své práci se zaměřím na didaktiku fyziky, což je relativně mladý obor. Didaktika fyziky vznikla v polovině 19. století, ale začala se mohutně rozvíjet až ve století dvacátém. Tento rozvoj úzce souvisel s tehdejší přestavbou československého školství. Na potřebě úpravy školského systému se vedle ideologického tlaku komunistického vedení rovněž podílel mohutný rozvoj technologií, který přilákal velké množství zájemců o studium fyziky a dalších přírodovědných oborů. Neuvážené reformy československého školství velice poškodily jeho přirozený vývoj a vzdálily naše školství od úrovně dosahované v ostatních vyspělých zemích. Přestože vývoj technologií pokračuje ve svém růstu, v současnosti pozorujeme spíše odklon zájmu od exaktních a technických věd a růst zájmu o humanitní obory.

V počátečních fázích vývoje didaktiky fyziky rozhodujícím způsobem pomohla Jednota českých matematiků a fyziků. Tato organizace považovala úspěšný rozvoj matematiky, fyziky a astronomie za svůj hlavní cíl.

Didaktika je klasickým interdisciplinárním oborem. V didaktice se snoubí pedagogika, psychologie, sociologie, filozofie, historie, matematika, fyzika, kybernetika, technika a další obory. Didaktika tyto obory využívá k hledání obecných zákonitostí vyučovacího procesu. V mnoha zemích je však pojetí didaktiky odlišné. Některé země dokonce tento vědní obor vůbec nerozlišují. Komenský ovlivnil především evropské země a jeho vliv je zde více patrný. V posledních letech můžeme pozorovat pokusy o reformu didaktiky. Některé tendence zacházejí až do extrému. Požadují zrušení výuky v současné podobě a její nahrazení domácí výukou. Didaktika je často kritizována a podceňována.

Didaktika má však poměrně pestré dějiny a její zrod můžeme najít až v 17. století. Zakladatelem didaktiky v Českých zemích je Jan Ámos Komenský (1592 – 1670), ale první pokusy teoreticky popsat proces výuky a interakci učitel – žák můžeme nalézt v roce 1612, kdy Wolfgang Ratke publikoval knihu *Nova Didactica*. V tomto díle jsou popsány tehdejší problémy ve školách a zároveň návrhy k jejich odstranění. V roce 1632 publikuje Komenský své dílo *Didaktika česká*, ve kterém vymezuje předmět didaktiky jako „docendi artificium, to jest umění o umění aneb o umělém vyučování mládeže v uměních, jazyku a moudrosti, a to



snadno, jakoby hrou“. Původně chtěl Komenský publikovat toto dílo jako součást velkého pojednání *Ráj český*, které by obsahovalo část teoretickou, didaktickou a praktickou. Pojednání bylo určeno učitelům i rodičům. Komenského názory předběhly svou dobu. Některá zlepšení tehdejší výuky se udržela dodnes. Komenský rozdělil vzdělávání do několika fází podle věku žáka. Do věku 6 let doporučoval výchovu dítěte v domácím prostředí. Obsah této domácí výuky sepsal v díle *Informatorium školy mateřské*. Ve věku od 6 do 12 let navštěvovalo dítě obecnou školu, ve které se mu dostalo základního vzdělání – psaní, čtení, počítání, náboženství, zpěv apod. Výuka probíhala pouze 2 hodiny dopoledne a 2 hodiny odpoledne. Od 12 do 18 let navštěvovali žáci školu latinskou, ve které již probíhala výuka náročnějších předmětů (rétorika, astronomie, geometrie, matematika, dějepis, latina, řečtina aj.). Ve věku od 18 do 24 let mohli žáci studovat na akademii, která byla obdobou dnešní vysoké školy. Výuka byla zaměřena na problematiku náboženství, práva či medicíny. Komenský nepovažoval absolvování akademie za ukončení vzdělávání, naopak tvrdil, že vzdělávání má být celoživotním procesem. Uvedené rozdělení vzdělávání do jednotlivých etap je jedním z prvních pokusů o systematizaci školství. Dílo Komenského není pouze didaktického charakteru, jako velice zbožný člověk napsal Komenský mnoho děl s náboženskou tematikou (*Kšaft umírající matky jednoty bratrské*), slovníků (*Poklad jazyka českého*) a filozofických spisů (*De rerum humanarum emendatione consultatio catholica*). Jazyková úroveň celého díla je velice vysoká a z literárního hlediska nesmírně hodnotná. Život Komenského provázely katastrofy. Mezi nejvýznamnější patřil požár v polském Lešně, při kterém shořelo velké množství spisů. V osobním životě jej velmi zasáhla smrt manželky a dětí, ze které se nikdy zcela nevzpamatoval. Po smrti své ženy sepsal dílo *Truchlivý*, ve kterém popisuje spor mezi vírou a rozumem. Víra, ve které často hledal útěchu, se mu stala do jisté míry i osudnou. Protože odmítl konvertovat ke katolictví, byl donucen odejít do exilu. Své myšlenky šířil po celé Evropě, ale do rodné vlasti se již nevrátil.

Podíváme-li se na školní budovy, uspořádání tříd a způsob výuky, je stále patrný odkaz období osvícenství. Didaktika však neustrnula v jednom bodě, ale prodělala dlouhý vývoj až do dnešní podoby. Jeden z nových konceptů pochází ze Spojených států amerických. Během druhé poloviny devatenáctého století prodělaly Spojené státy americké neuvěřitelně rychlý ekonomický, technický a společenský rozvoj a předstihly v tomto směru nejvyspělejší země Evropy. Bylo nutné také školství upravit tak, aby odpovídalo tomuto stavu společnosti. Jako východisko se nabízí reforma vzdělávání a jejím hlavním představitelem se stává J. Dewey. Zastává názor, že žáka nejvíce formuje sociální prostředí, ve kterém se pohybuje. Proud, který Dewey reprezentuje, se nazývá pragmatická pedagogika a hlavní myšlenkou je

výuka látky, kterou žák chce poznat. Velkou roli přikládá Dewey obtížím (problémům), které iniciují další myšlení. Cílem myšlení není jen poznání, ale i schopnost přizpůsobování se měnícím se podmínkám prostředí.

Počátkem 20. století se začal rozvíjet behaviorismus a tento proud zasáhl i didaktiku. Představitelem je E.L. Thorndike. Hlavním přínosem jeho teorií byl popis dnes převládajícího způsobu vyučování – rozdělení učiva na menší celky, které se dále předají žákům. Učivo je třeba upevňovat (opakování) a kontrolovat (zkoušení). Velký rozvoj továren (Ford – USA, Baťa - Československo) a efektivita práce v těchto závodech vedla didaktiky k myšlence zavést některé prvky z výroby i do vyučování. Cílem bylo formulování přesných výukových cílů – složité dovednosti se rozčlenily do dílčích úkonů. Rovněž se experimentovalo s individuálním studijním plánem, kdy žák zvládá učivo jen s minimálním přispěním učitele.

Nadšení z úspěchů behaviorismu začínají krotit meziváleční badatelé, kteří zdůrazňují důležitost vnitřních mentálních procesů. Začínají se objevovat názory, že učení není plně určeno vrozenými dispozicemi žáků. Na učení se rozhodujícím způsobem podílí i sociální prostředí. Učení je v tomto smyslu vyrovnávání se mezi strukturou mysli a prostředím, ve kterém jedinec žije. Tuto oblast popsali významní vědci jako J. Piaget, F.Ch. Bartlett či E. Tolman. Význam jejich práce byl však doceněn až po druhé světové válce. V Sovětském svazu publikuje zajímavé práce například L.S. Vygotskij. Porevoluční nadšení v SSSR vede k rozsáhlému experimentování typickému pro centrálně řízené diktatury. Některé myšlenky jsou však dodnes základem sociokognitivní a kulturní psychologie a konstruktivismu.

V poválečných letech se znovu na scéně objevují behavioristé a do centra zájmu se dostává pozitivní a negativní zpevnování (B.F. Skinner). Opět se projevuje potřeba exaktního určení výukových cílů. Výukové cíle je třeba systematizovat a tohoto úkolu se ujímá B. Bloom.

## **2.1 Taxonomie výukových cílů**

V současných vzdělávacích systémech je důležitým pojmem výukový cíl. Výuka se koncipuje na základě stanoveného výukového cíle, který je výsledkem analýzy učiva a výsledků pedagogicko-psychologické diagnostiky třídy resp. jednotlivých žáků. V druhé polovině 20. století se však rovněž objevily pedagogické proudy, které stanovování výukových cílů kritizovaly. Jedná se o antiautoritativní pedagogiku, která odmítá mimo jiné i některé současné didaktické principy či organizační formy a metody uplatňované v současných vzdělávacích systémech. Bylo by krátkozraké tyto myšlenky apriori zavrhnout.

Domnívám se, že některé přístupy mohou být v pedagogické praxi přínosné. Je vhodné se řídit následujícími pravidly.

- 1) Učitel by neměl nastavovat takové cíle, které by žákům mohly způsobit přílišný stres.
- 2) Pokud učitel takový cíl nastaví, neměl by trestat za neúspěch při jejich realizaci.
- 3) Chce-li učitel po svých žácích, aby vytvořili či vymysleli něco nového, co nebylo ještě probráno, měl by jim dát k dispozici veškerou pomoc a veškeré dostupné nástroje a zdroje.

Výukový cíl můžeme definovat jako „představu o kvalitativních a kvantitativních změnách u jednotlivých žáků v oblasti kognitivní, afektivní a psychomotorické, kterých má být dosaženo ve stanoveném čase v procesu výuky“ (Kalhoust, Obst, 2002). Změny u jednotlivých žáků jsou relativně stálé, ve výuce fyziky se změny projevují jako osvojení nových fyzikálních poznatků, dovedností a rozvojem žádoucích osobnostních rysů žáka. Výukový cíl by neměl být stanoven pouze učitelem. Vhodnější přístup je stanovení výukového cíle na základě spolupráce a diskuze mezi učitelem a žáky. Žák není pouze pasivním objektem výuky, ale měl by být aktivním subjektem, který výuku spoluutváří. Tím, že se žáci podílejí na stanovení výukového cíle, dojde k vnitřnímu přijmutí a ztotožnění se s nimi. Výukový cíl pak plní významnou regulační roli v jejich učebních činnostech.

Z hlediska praktické použitelnosti ve výuce je vhodné výukové cíle rozdělit do následujících kategorií:

- kognitivní (vzdělávací, informativní) – vymezují vědomosti (fyzikální pojmy, zákony a teorie), intelektuální dovednosti a schopnosti (řešení fyzikální úlohy), které si žák osvojí.
- afektivní (postojové, hodnotové, emocionální, výchovné) – obsahují osvojování postojů, vytváření hodnotové orientace (např. odpovědný přístup k řešení ekologických otázek) a sociálně komunikativních dovedností (např. vyslechnout názor druhého, hledat argumenty pro obhájení svého řešení problému aj.). Jejich dosahování je hlavním záměrem výchovy v užším slova smyslu.
- psychomotorické (výcvikové, operační, činnostní) – zahrnují osvojování psychomotorických dovedností (manipulace s přístroji či jinými pomůckami, sestavování elektrického obvodu nebo experimentální aparatury) a jsou nejčastěji předmětem výcviku. Z hlediska výuky fyziky zahrnují i některé dovednosti intelektuální (např. získat informace pozorováním fyzikálních dějů nebo

experimentální činností, vytvořit návyky nutné pro zpracování informací o fyzikálních dějích apod.)

## 2.2 **Taxonomie kognitivních cílů podle B. S. Blooma**

Toto rozdělení se snaží strukturovat přímou kognitivní činnost žáků a vytváří hierarchicky uspořádaný systém. Taxonomie je přísně logicky strukturovaná, ale nesnaží se klasifikovat učivo, jednotlivé fáze vyučovacího procesu, výukové metody a činnost učitele. Spíše se jedná o nástroj k propojení učiva a činností žáků a rovněž zajišťuje zpětnovazební informace o úrovni zvládnutí úkolu žákem.

Taxonomie je rozdělena do 6 úrovní (kategorií). Toto uspořádání je založeno na hypotéze, že k dosažení vyšší kategorie je potřeba důkladné zvládnutí kategorie nižší. Některé výzkumy (P. Byčkovský, J. Kotásek, E. Mazák, 1981) však ukazují, že hierarchický vztah je jasně patrný u prvních tří kategorií, poslední tři kategorie již tak jasnou strukturu nevykazují. Jednotlivé kategorie jsou řazeny vzestupně podle obtížnosti potřebné k jejich dosažení.

| <b>Taxonomie kognitivní cílů (Bloom, 1956)</b> |            |
|------------------------------------------------|------------|
| <b>1.</b>                                      | znalost    |
| <b>2.</b>                                      | porozumění |
| <b>3.</b>                                      | aplikace   |
| <b>4.</b>                                      | analýza    |
| <b>5.</b>                                      | syntéza    |
| <b>6.</b>                                      | hodnocení  |

### **Znalost**

Na této úrovni se od žáka požaduje znovupoznání informací nebo znovuvybavení poznatků. K formulování cílů této kategorie je vhodné použít následující aktivní slovesa (slovesné vazby):

*definovat, doplnit, napsat, nazvat, určit, znázornit, pojmenovat, seřadit apod.*

Příkladem může být: popsat nabíjení a vybíjení kondenzátoru, doplnit k uvedeným elektrostatickým veličinám jejich jednotky a obráceně.

### **Porozumění**

V této kategorii žák prokazuje pochopení osvojených poznatků. Žák dokáže poznatky vyjádřit vlastními slovy, dokáže přejít od symboliky k informaci slovní, chápe hlavní myšlenku studovaného textu. K formulaci cílů používáme typická slovesa:

*dokázat, jinak formulovat, objasnit, vyhledat, zdůvodnit, vysvětlit, interpretovat, vypočítat, určit, shrnout apod.*

Například: vyhledat v tabulkách dielektrickou konstantu různých látek a posoudit jejich vliv na velikost elektrické síly nebo hodnotu kapacity kondenzátoru, odvodit vztah pro výpočet kapacity kulového kondenzátoru.

### **Aplikace**

Při aplikaci si žák nejen vybaví informaci, ale dochází také k transferu učení do situací pro jedince nových (problémových). Tyto situace vyžadují od žáka vybavení poznatků, jejich zobecnění a následné správné použití k řešení úkolu. Typická slovesa vhodná k formulaci cílů jsou:

*aplikovat, demonstrovat, diskutovat, použít, prokázat, navrhnout, uspořádat, roztrždit, vyzkoušet apod.*

Například: demonstrovat existenci vázaného povrchového náboje polarizovaného dielektrika; navrhnout geometrické uspořádání kondenzátoru pro měření dielektrické konstanty kapalných dielektrik.

### **Analýza**

Na této úrovni již žák provádí složitější myšlenkové operace – rozdělí sdělení (objekt) na dílčí prvky a objasní vztahy mezi nimi. Tímto postupem vystihne strukturu celku, a tak najde požadované řešení. Žák již je schopen rozlišit fakta od hypotéz, významné údaje od nevýznamných. Využíváme typických sloves:

*analyzovat, najít princip uspořádání, rozhodnout, rozdělit, rozlišit, specifikovat, porovnat, provést rozbor apod.*

Jako příklad můžeme uvést: vysvětlit, proč různá konstrukce deskového kondenzátoru má vliv na jeho kapacitu; rozhodnout, zda dané dielektrikum je vhodné ke kondenzátoru určité konstrukce.

### **Syntéza**

Tato kategorie již požaduje komplexní, náročný způsob zpracování poznatků (informací). Dochází k propojení jednotlivých prvků, které tak vytvoří nový celek (subjektivně). Je potřeba vyvinout značné úsilí pro sestavení takového celku, který v žákově zkušenosti nebyl. K vymezování cílů této kategorie používáme slovesa:

*klasifikovat, kategorizovat, kombinovat, modifikovat, organizovat, shrnout, vyvodit, reorganizovat apod.*

Příkladem může být: klasifikovat kompozitní dielektrika z hlediska závislosti dielektrické konstanty na teplotě; reorganizovat způsob výroby kompozitních dielektrik tak, aby byl efektivnější.

### **Hodnotící posouzení (hodnocení)**

Na této úrovni žák posuzuje hodnotu myšlenek, dokumentů, metod, materiálů či technik na základě jejich vhodnosti k danému účelu (kritéria, normy). Posuzuje tedy adekvátnost, hospodárnost, efektivnost, přesnost, atd. Kritéria, podle kterých posuzuje, mohou být udána, nebo je určí sám žák. Typická aktivní slovesa jsou:

*argumentovat, diskutovat, kritizovat, obhájit, ocenit, vyvrátit, zhodnotit, zdůvodnit, oponovat, porovnat apod.*

Například: posoudit výhody a nevýhody klasického kondenzátoru a kapacitní diody; uvést klady a zápory využití dielektrik nebezpečných pro životní prostředí v technické praxi.

V pedagogické praxi je často zřejmé, že se učitelé zaměřují především na nejnižší úroveň Bloomovy taxonomie (zapamatování si správné odpovědi na konkrétní otázku). Správný vývoj osobnosti žáka však vyžaduje uplatnění činností, které plní cíle na vyšších úrovních této taxonomie. Žáci by měli být schopni vytvářet hypotézy a následně je ověřovat či vyvracet, formulovat problém a shánět potřebné informace. Taxonomie rovněž ukazuje, jak náročná je definice, že žák „umí“. Je patrné, že toto sdělení může znamenat zapamatování si poznatku, ale i aplikaci konkrétní informace k řešení problému. Požadovaná úroveň by proto měla být zcela exaktně stanovena. Porušením tohoto pravidla se žák dostává do situace, kdy není přesně obeznámen s požadavky učitele. Žák poté vnímá zkoušení jako proces, při kterém hraje největší roli náhoda.

Pro vymezení kognitivních cílů je někdy používána taxonomie B. Niemierka. Niemierko rozlišil dvě základní úrovně osvojení a tyto úrovně dále člení do dvou podskupin.

- 1. úroveň – **Vědomosti**

#### **zapamatování poznatků**

Žák dosáhne této úrovně, jestliže si dokáže vybavit určitá fakta, termíny, zákony, teorie nebo zásady činnosti, přičemž je nezakresluje a nezaměňuje. Typická slovesa: *definovat, napsat, opakovat, vysvětlit, doplnit apod.*

#### **porozumění poznatkům**

Žák již dokáže s poznatkem pracovat (zestručnit, uspořádat) a pouze je nereprodukuje. Příkladem typických sloves jsou:

*objasnit, jinak formulovat, ilustrovat, převést, vyjádřit vlastními slovy, odhadnout*

- 2. úroveň – **Dovednosti**

používání vědomostí v typových situacích (specifický transfer)

Žák dokáže využít poznatků k řešení úkolů, které již ve výuce byly řešeny. Dříve řešený úkol plní funkci vzoru a nesmí se lišit od situací vyskytujících se v běžné praxi.

Typická slovesa jsou:

*aplikovat, demonstrovat, diskutovat, použít, prokázat, řešit apod.*

používání vědomostí v problémových situacích (nespecifický transfer)

Žák již využívá získané poznatky k řešení situací, se kterými se ještě nesetkal. Žák problém analyzuje a navrhne způsob řešení. Dále navrhne ověření svého řešení a diskutuje výsledky. Dokáže zhodnotit dosažené výsledky a případně korigovat řešení za účelem zlepšení efektivnosti, přesnosti, atd. K formulaci cílů této úrovně můžeme využít typická slovesa:

*analyzovat, rozhodnout, rozlišit, provést rozbor, porovnat, posoudit, prověřit apod.*

## 2.3 Revize Bloomovy taxonomie

Od vydání původní Bloomovy taxonomie z roku 1956 urazila pedagogika dlouhou cestu. Sám Bloom svoji taxonomii neformuloval jako jediné správné rozdělení edukačních cílů. Domníval se, že v průběhu dalších let bude taxonomie dále upravována a precizována. Bloom se opíral o tehdejší závěry behavioristů. Tento přístup znamenal ve své době výrazný posun, ale v dnešní době máme i další možné teoretické postupy, a proto je třeba Bloomovu taxonomii modifikovat ve schodě s nejnovějšími poznatky. Revize vychází ze závěrů kognitivní psychologie.

Inovace taxonomie byla nutná z několika důvodů. Již brzy po vydání původní taxonomie bylo vzneseno několik námitek od pedagogických pracovníků, kteří upozornili na některé cílové roviny nepostižitelné Bloomovou taxonomií. Další rozvoj didaktiky prokázal nutnost exaktní klasifikace výukových cílů. Výukové cíle hrají i dnes ve vzdělávání nezastupitelnou roli, a proto je tato problematika stále doplňována nejnovějšími poznatky.

Koncem devadesátých let minulého století připravovalo nakladatelství Logman nové vydání původní Bloomovy taxonomie. Nakladatelství požádalo jednoho z původních autorů (D.R. Kratwohl) taxonomie o zapracování nových poznatků objevených po prvním vydání. Z následné spolupráce mezi nakladatelstvím a Kratwohlem vznikla myšlenka revidovat taxonomii. Byl sestaven pracovní tým složený z odborníků teorie kurikula (L.W. Anderson),

kognitivních psychologů a specialistů pro testování a hodnocení. Po třech letech práce byla představena revidovaná verze taxonomie odborné veřejnosti. Následné připomínky byly do práce zapracovány a revize byla připravena pro vydání, které se uskutečnilo v roce 2001.

Původní rozdělení výukových cílů na kognitivní, afektivní a psychomotorické není v revidované verzi zachováno. Revize se zaměřuje pouze na kognitivní cíle.

Bloomova taxonomie z roku 1956 byla jednodimenzionální a obsahovala 6 úrovní – znalost, porozumění, aplikace, analýza, syntéza, hodnocení. Nové pojetí rozděluje taxonomii do dvou dimenzí – znalostní dimenze a dimenze kognitivního procesu. Znalostní dimenze obsahuje 4 kategorie – znalost faktů, konceptuální znalost, procedurální znalost a metakognitivní znalost. Dimenze kognitivního procesu obsahuje kategorií 6 – zapamatovat, porozumět, aplikovat, analyzovat, evaluovat a tvořit. Tento nový systém je pak reprezentován následující tabulkou.

|                               | DIMENZE KOGNITIVNÍHO PROCESU |               |                 |                  |                |              |
|-------------------------------|------------------------------|---------------|-----------------|------------------|----------------|--------------|
| ZNALOSTNÍ<br>DIMENZE          | 1.<br>Zapamatovat            | 2.<br>Rozumět | 3.<br>Aplikovat | 4.<br>Analyzovat | 5.<br>Hodnotit | 6.<br>Tvořit |
| A. Znalost faktů              |                              |               |                 |                  |                |              |
| B. Konceptuální<br>znalost    |                              | ×             |                 |                  |                |              |
| C. Procedurální<br>znalost    |                              |               |                 |                  |                |              |
| D. Metakognitivní<br>znalosti |                              |               |                 |                  |                |              |

Při koncipování revidované verze taxonomie se mírně upustilo od hierarchického modelu. Jednotlivé úrovně již nereprezentují náročnost daného výukového cíle. Tento odklon je ale nahrazen komplexitou. Podle tohoto modelu je nutné do výuky zařadit edukační cíle ze všech úrovní.

Jednotlivé úrovně dimenze kognitivního procesu se příliš neliší od původní verze taxonomie. Úroveň zapamatování je definována jako *prosté uložení a vybavení znalosti z dlouhodobé paměti*. Úroveň porozumění popisujeme jako *konstruování významu na základě získaných sdělení včetně ústního, písemného nebo grafického*. V původní taxonomii byla tato úroveň někdy pojmenována jako pochopení. Významově se příliš neliší od nového názvu, ale pochopení chápeme jako předstupeň porozumění. Aplikací rozumíme *užití postupu nebo*



*struktury v různých situacích. Analýza znamená rozčlenění látky na dílčí jednotky a určení, jaký je vztah mezi těmito jednotkami a jaký vztah mají tyto jednotky k celkové struktuře nebo účelu. Hodnotit znamená posuzovat podle konkrétních kritérií a standardů. Poslední úroveň je tvorba, která je definována jako vytváření nových vnitřně soudržných celků z jednotlivých prvků, reorganizace prvků do nového znaku nebo struktury.*

Původní úroveň znalost byla velice široce rozpracována do několika kategorií. Kategorie znalost faktů obsahuje *základní prvky, které mají studenti znát, aby byli obeznámeni s disciplínou a byli schopni řešit její problémy*. Kategorie znalost konceptů již obsahuje i jednotlivé vztahy mezi prvky, definujeme ji jako *vzájemné vztahy mezi základními prvky uvnitř větších struktur, které umožňují jejich vzájemné fungování*. Další kategorií je procedurální znalost, která zastřešuje *způsoby činnosti, metody dotazování, kritéria používání dovedností, algoritmů, technik a metod*. Poslední kategorií je metakognitivní znalost obsahující *obecné znalosti o tom, jak poznáváme a uvažování o vlastním myšlením (sebereflexe)*.

Příkladem práce s revidovanou taxonomií je formulace výukového cíle „žák vysvětlí jednotlivé mechanismy polarizace dielektrik“. Všimněme si formulace sloveso – podstatné jméno. Takto formulovaný edukační cíl klasifikujeme pomocí taxonomie následovně. Sloveso „vysvětlí“ patří mezi typická slovesa úrovně **porozumět** v dimenzi kognitivních procesů. Znalost jednotlivých mechanismů polarizace dielektrik je **znalost konceptuální**. Díky určení pozice výukového cíle v jednotlivých dimenzích získáme výsledné zařazení cíle v revidované taxonomii – v tomto konkrétním příkladě je tato pozice **2B**. Pozice **2B** je v tabulce naznačena křížkem. Dalším příkladem může být výukový cíl „žák posoudí výhody použití elektrolytického kondenzátoru a kapacitní diody v technické praxi“. Cíl opět sleduje konceptuální znalost, ale v dimenzi kognitivního procesu se dostáváme na úroveň hodnocení. Jinými slovy nyní nepožadujeme pouhou reprodukci poznatků, ale žák musí na základě znalosti těchto poznatků určit klady a zápory použití daných součástí.

Revidovaná Bloomova taxonomie nabízí hlubší pohled na problematiku výukových cílů. Stala se součástí moderních pedagogických teorií. Její praktické použití klade vysoké nároky na učitele. Při správném použití je však neocenitelným nástrojem v rukách pedagogického pracovníka.

## **2.4 Taxonomie afektivních cílů podle D. B. Kratwohla**

Zatímco taxonomie kognitivních cílů je založena na vzrůstající komplexnosti kognitivních procesů, taxonomie afektivních cílů je budována na základě postupného

zvnitřňování hodnot vychovávaných subjektů. Kratwohlova taxonomie obsahuje 5 úrovní a byla vytvořena v roce 1964.

### **1. přijímání (vnímání)**

Tuto úroveň můžeme charakterizovat jako ochotu žáka přijímat a vnímat podněty. Žák sleduje výklad, naslouchá učiteli a spolužákům či věnuje pozornost řešení vzorové úlohy na tabuli. Úroveň můžeme dále rozdělit na subkategorie, a to podle stupně vnímavosti vůči podnětům.

### **2. reagování**

Reagováním žák projevuje větší zainteresovanost v procesu výuky. Od pouhého pasivního vnímání přechází k aktivní činnosti a zapojuje se do výuky. Reakce pak přináší pocit uspokojení, který plyne z dobrovolného rozhodnutí reagovat. Toto emoční pozadí nemusí být vždy patrné navenek.

### **3. hodnocení (oceňování hodnoty)**

Na třetí úrovni již žák oceňuje jevy, chování a další procesy. Rozděluje je na žádoucí, užitečné a nežádoucí. Podle rozdělení je pak motivován. Pokud nějaký jev posoudí jako velice užitečný, cítí jistý závazek, který dále ovlivňuje jeho chování. Subkategorie této úrovně jsou:

- akceptování hodnoty
- preferování hodnoty
- přesvědčení o hodnotě

### **4. integrace hodnot**

Postupným zvnitřňováním hodnot nastávají situace, ke kterým se vztahuje více než jedna hodnota. Tento vzniklý konflikt řeší žák integrováním a strukturováním hodnot, čímž vytváří jakýsi žebříček hodnot. Zařazením hodnoty do tohoto žebříčku se stabilizuje chování, které by jinak bylo nepředvídatelné.

### **5. zvnitřňování hodnot v charakteru**

Na nejvyšší úrovni již hodnoty získávají pevné místo v hodnotové hierarchii jedince. Tato hierarchie plně a dlouhodobě řídí chování jedince. Hodnotový systém se integruje do charakteru jedince a vytváří se tak osobní životní filozofie. Patří sem i vybudování „fyzikálního obrazu světa“. Úroveň můžeme dále rozdělit do následujících subkategorií:

- generalizovaná zaměřenost
- charakterová vyhraněnost

Taxonomii afektivních cílů zpracoval i již zmiňovaný Niemierko. Jeho rozdělení vychází z taxonomie Kratwohlovy, ale je upraveno a zjednodušeno pro využití v učitelské praxi. Niemierko rozdělil míru zvnitřnění do dvou úrovní a každou z nich do dvou subkategorií.

- 1. úroveň

#### účast na činnosti

Žák provádí vědomou selekci podnětů a činností. Tato selekce odpovídá přijaté roli. Žák není iniciativní, pouze se v dané situaci pokouší adaptovat a zorientovat.

#### podjímání se činnosti

Žák již je zainteresován. Samostatně se pouští do činnosti a organizuje ji. Jednání je stále málo upevněné.

- 2. úroveň

#### naladění k činnosti

Na této úrovni je žák pozitivně naladěný k vykonávání dané činnosti. Naladění chápeme jako trvalou vnitřní potřebu a dodatečné kladné hodnocení jejích výsledků. Žákovi však chybí širší zobecnění vlastního vztahu k činnosti.

#### systém činnosti

Žák si vytvořil harmonicky uspořádaný soubor zásad jednání a s těmito zásadami se identifikoval. Pomocí těchto zásad reguluje svoji činnost.

## **2.5 Taxonomie psychomotorických cílů podle H. Davea**

Tato taxonomie je jednou z nejstarších v této oblasti, vznikla v roce 1968. Dave rozlišuje 5 úrovní, které dále člení do subkategorií.

### **1. imitace (nápodoba)**

Žák pozoruje činnost a začíná ji napodobovat. Imitace probíhá na bázi vnějších podnětů a pozorování. Tuto úroveň dále členíme do subkategorií:

- impulsivní nápodoba
- vědomé opakování

### **2. manipulace (praktická cvičení)**

Na této úrovni žák dokáže uskutečnit určitou činnost dle slovního návodu. Dokáže rovněž vybrat konkrétní činnost podle vhodnosti k řešení daného úkolu. Můžeme také pozorovat zlepšení manipulace s nástroji. Subkategorie této úrovně jsou:

- manipulace podle instrukce
- manipulace podle výběru
- manipulace za účelem zpevnování

### 3. zpřesňování

Žák již dokáže vykonávat daný úkol relativně přesně a rychle. Činnost je vykonávána s větší účinností než v předchozích úrovních. Rozeznáváme tyto subkategorie:

- reprodukce
- kontrola

### 4. koordinace

Tuto úroveň charakterizujeme jako koordinovaný sled různých činností, přičemž pohybové výkony jsou vnitřně soudržné. Subkategorie této úrovně jsou:

- sekvence (přenesení jedné činnosti na druhou)
- harmonie (plynulý soulad jednotlivých činností)

### 5. automatizace

V činnosti žáka se projevují pohybové automatismy, které výrazně zefektivňují průběh činnosti. Při vynaložení malého úsilí je činnost maximálně účinná – maximum výkonu při minimu energie. Úroveň dále členíme do 2 subkategorií:

- částečné zautomatizování
- úplné zautomatizování

Při vymezování a formulování výukových cílů se učitelé často dopouštějí chyb. Mezi nejčastější patří:

#### 1) Příliš obecné vymezení výukového cíle

Při příliš obecné formulaci výukového cíle není jasné, co konkrétně se žák ve výukové jednotce naučí, jaké způsoby řešení použije, jaké dovednosti budou rozvíjeny a jaký dopad bude mít výuka na postoje žáka spojené s učivem nebo stylem práce. Příkladem může být:

*„Zákonitosti vedení proudu v kovech“*

*„Naučit se pracovat s grafy“*

*„Cílem vyučovací hodiny je řešení úloh z elektrostatiky“*

#### 2) Ztotožnění cíle s tématem vyučovací jednotky

U takto formulovaného cíle není specifikován rozsah a úroveň osvojení daného cíle. Například:

„Termodielektrický jev“

„Mechanismy polarizace dielektrik“

„Dielektrická konstanta“

### 3) Cíl popisuje zamýšlenou činnost učitele

Takto formulovaný cíl nevymezuje konkrétní požadavky na kompetence žáků, požadovaný výkon a na pozorovatelnou a kontrolovatelnou činnost. Například:

„Demonstrovat polarizaci dielektrik“

„Cílem vyučovací hodiny je seznámit studenty s elektrety“

„Vysvětlit fyzikální veličinu elektrický proud, naučit žáky měřit elektrický proud a napětí“

## 2.6 Výukové metody

Po stanovení výukového cíle musí učitel zvolit vhodnou výukovou metodu, aby tohoto cíle bylo dosaženo. Výuková metoda je tedy jakási cesta k naplnění výukového cíle. Volná definice výukové metody podle J. Maňáka (1990) zní „koordinovaný systém vyučovacích činností učitele a učebních aktivit žáka, který je zaměřen na dosažení učitelem stanovených a žáky akceptovaných výukových cílů“. Efektivnost výukových metod je tím větší, čím větší mírou dochází k aktivnímu zapojení žáka do výuky. Tato myšlenka je zřejmá v práci S. Shapira (1992), který uvádí u jednotlivých metod i procentuální podíl zapamatovaného učiva. O těchto procentuálních hodnotách lze diskutovat, přesné číslo samozřejmě úzce souvisí s dalšími vlivy (nejen s použitou výukovou metodou).

| Výuková metoda       | Zapamatování |
|----------------------|--------------|
| výklad               | 5%           |
| čtení                | 10%          |
| audiovizuální metody | 20%          |
| demonstrace          | 30%          |
| diskuse ve skupinách | 50%          |
| praktická cvičení    | 70%          |
| vyučování ostatních  | 90%          |

### 2.6.1 Klasifikace výukových metod

Základní rozdělení výukových metod provedl v roce 1986 I.J. Lerner. Výukové metody můžeme rozlišit do několika skupin:

1. Informačně – receptivní metoda
2. Reprodukativní metoda
3. Metoda problémového výkladu
4. Heuristická metoda
5. Výzkumná metoda

Z hlediska poznávací činnosti žáka můžeme metody 1. a 2. označit jako reprodukativní, během kterých si žák vědomosti především osvojuje a následně je reprodukuje. Metody 4. a 5. označujeme jako metody produktivní, protože žák získává informace jako důsledek vlastní tvořivé činnosti. Metodu problémového výkladu (č. 3) z tohoto hlediska považujeme za hraniční, protože během výuky touto metodou dochází k osvojování poznatků i tvořivé činnosti.

### **Informačně receptivní metoda**

Tato metoda spočívá v pasivním příjmu informací žáky, zatímco učitel poskytuje poznatky formou výkladu, demonstračních experimentů, videonahrávek, audiozáznamů. Zařazujeme sem i práci s učebnicí, internetem a dalšími médii či učebními pomůckami. Zapamatování informací žáky probíhá především na vědomé úrovni. Efektivnost metody je značně individuální. Pro dobré zapamatování je potřeba informaci mnohokrát zopakovat a počet opakování se u jednotlivých žáků může výrazně lišit. Tato metoda patří v současnosti mezi metody hojně využívané.

### **Reprodukativní metoda**

Metoda je založena na organizovaném opakování způsobů činnosti. Učitel zkonstruuje soubor úloh, které žák řeší. Patří sem tvorba grafů, rýsování schémat, řešení typových úloh apod. Podstatou je reprodukce dříve osvojených poznatků. V praxi je velké množství úloh zaměřeno na reprodukci zapamatovaných informací (znalost). Při jejich řešení se tedy žák stále pohybuje na první úrovni Bloomovy taxonomie. Pro realizaci komplexní výuky je třeba zařazovat i úlohy na další úrovně kognitivních cílů (především porozumění a aplikace). Pokud učitel úlohy sám tvoří, často se nevyhne jisté monotónnosti v jejich zadání a způsobu řešení. Učitelé často tvoří spontánně úlohy přímo ve vyučovací jednotce bez přípravy, což vede právě k tvorbě stereotypních úloh. To není žádoucí, protože velké množství takových úloh vede k utlumení motivace žáků. Spolu s metodou informačně – receptivní je tato metoda velmi často využívána. Není to překvapující, protože tyto metody jsou z hlediska časové náročnosti nejekonomičtější. Obě metody jsou na základních i středních školách velice frekventované, ale jejich použitím není rozvíjena tvůrčí činnost žáka.

## **Metoda problémového výkladu**

Výuka může probíhat i způsobem, kdy na počátku vyučovací jednotky učitel vytyčí problém, který pak společně s žáky řeší. Společně problém definují a následně řeší.

Výsledkem je hypotéza, kterou ověřují. Některé fáze může učitel ponechat k samostatné činnosti žáků. Tato metoda je výhodná z hlediska zafixování postupu řešení. Řešení problémového úkolu vedoucí k tvorbě hypotézy (hypotéz) vyžaduje od žáků uplatnění rozumové analýzy, zkušenosti, metody pokusu a omylu, postřehu (vhledu, intuice) či kombinace těchto způsobů řešení. Úspěšné využití této metody vyžaduje závěrečnou rekapitulaci, při které se zdůrazní správné řešení (zvláště v případě vyvrácení některých hypotéz). U některých úloh je pak rovněž nutné poukázat na obecnou platnost dosaženého správného výsledku.

## **Heuristická metoda**

Tato metoda bývá také označována jako metoda částečně výzkumná. Opět dochází k zafixování algoritmu řešení konkrétního problému. Tento problém je uveden učitelem tak, aby představoval rozpor mezi osvojenými poznatky a například demonstrovaným experimentem. Učitel pokládá problémové otázky a odpovídá na ně s pomocí žáků. Žáci tak sledují logický postup řešení, dokonce se stávají aktéry tohoto řešení. Podstatné je, že nové poznatek formulují sami žáci, kteří jsou navíc silně angažováni. Úroveň osvojení se dostává do kategorie aplikace. Podmínkou efektivity této metody je rovnováha mezi aktivitou učitele a žáků.

## **Výzkumná metoda**

Výzkumná metoda (někdy také částečně badatelská metoda) je založena na samostatném hledání řešení komplexního problému. Činnost učitele je značně utlumena. Žáci určují způsob řešení, aplikaci osvojených poznatků i způsob realizace. Při neúspěchu sami korigují původní předpoklady a navrhnou modifikace. Metoda rozvíjí kreativitu a poskytuje prostor pro nekonvenční řešení. Metodu je vhodné použít pro řešení snadných úkolů a teprve poté přejít k úkolům náročnějším. Žáci si totiž nejdříve musí osvojit tento samostatný způsob řešení, který znamená výrazný posun v jejich intelektuálním rozvoji. Metoda je časově i materiálně náročná, a proto je třeba použití této metody velice pečlivě plánovat. Tématem výzkumné metody může být konstrukce Stirlingova motoru (některé složité součástky je možné zakoupit ve formě stavebnice), konstrukce slunečního kolektoru, který se otáčí podle polohy Sluncem, atd. Jedním typem výzkumné metody je i projektová metoda, která vyžaduje týmovou spolupráci. Tím dochází k rozvoji sociálních kompetencí žáka.

## **Komplexní klasifikace základních skupin metod výuky (J. Maňák, 1990)**

### **A. Metody z hlediska pramene poznání a typu poznatků – aspekt didaktický**

#### **I. Metody slovní**

1. monologické metody (popis, vysvětlování, vyprávění, přednáška apod.)
2. dialogické metody (rozhovor, diskuse, dramatizace)
3. metody práce s učebnicí, knihou

#### **II. Metody názorně demonstrační**

1. pozorování předmětů, jevů, procesů a objektů
2. předvádění (předmětů, modelů, pokusů, činností)
3. demonstrace obrazů statických (grafy, diagramy, schémata apod.)
4. projekce statická a dynamická (videosekvence, audiozáznamy, animace, apod.)

#### **III. Metody praktické**

1. nácvik pohybových a pracovních dovedností
2. žákovské laborování
3. pracovní činnosti (v dílnách, na pozemku)
4. grafické a výtvarné činnosti

### **B. Metody z hlediska aktivity a samostatnosti žáků – aspekt psychologický**

#### **I. Metody sdělovací**

#### **II. Metody samostatné práce žáků**

#### **III. Metody badatelské a výzkumné**

### **C. Struktura metod z hlediska myšlenkových operací – aspekt logický**

#### **I. Postup srovnávací**

#### **II. Postup induktivní**

#### **III. Postup deduktivní**

#### **IV. Postup analogicko – syntetický**

### **D. Varianty metod z hlediska fází výuky**

#### **I. Metody motivační**

#### **II. Metody expoziční**

#### **III. Metody fixační**

#### **IV. Metody diagnostické**

#### **V. Metody aplikační**

### **E. Varianty metod z hlediska výukových forem a prostředků – aspekt organizační**

#### **I. Kombinace metod s vyučovacími formami**



## II. Kombinace metod s vyučovacími pomůckami

### Metody slovní

Bez použití těchto metod se neobejde žádná výuka. Předpokladem je rétorická zdatnost učitele a schopnost přesného vyjadřování. Samozřejmostí je použití spisovného jazyka a široká slovní zásoba. Při použití odborné terminologie je potřeba cizí výrazy žákům bezezbytku vysvětlit.

Monologické slovní metody bývají využívány k prvnímu seznámení žáků s novými poznatky. Jednou z těchto metod je **popis**, kterým učitel předkládá žákům vnější stránku různých jevů a objektů. Popis přechází ve **vysvětlování**, které musí mít vnitřní strukturu. U žáků je v této fázi nutná vnitřní aktivita (analýza, zobecňování). Další metodou je **přednáška**, u které rovněž nesmí být opomenuta vnitřní struktura. V úvodní části přednášky je třeba žáky motivovat, aktivovat. Poté následuje výkladová část a přednášku je nutné zakončit závěrečnou rekapitulací – zopakováním, které zpevní zapamatované poznatky. Před praktickou činností je vhodné využít **instruktáž**, která uvede postup činnosti nebo způsob práce s přístrojem. Tato metoda může být spojena s praktickou činností (návěst), a proto je zařazena i mezi metody praktické. V hodinách fyziky se pravděpodobně příliš nevyužije **vyprávění**. Tato metoda je vhodná v primární škole a pro učivo dějepisné či literární. Vyprávění lze použít pro některá témata z historie fyziky (život významných fyziků a fyziků, vývoj důležitých strojů a teorií, atd.)

Dialogické metody vyžadují hluboké znalosti učitele, flexibilitu, pohotovost a přístupnost novým názorům. Totéž však očekáváme od žáků, kteří se učí akceptovat odlišné přístupy, argumentovat a vyjadřovat vlastní názory. Základní metodou je **rozhovor**, který je moderován učitelem. Je třeba, aby otázky kladené v rozhovoru nevedly k mechanickým a jednoslovným odpovědím. Rozhovor může plynule přejít v **diskusi**. Zatímco rozhovor může probíhat mezi učitelem a jedním žákem, diskuse vyžaduje zapojení celé skupiny. Z toho je patrné, že ve správně vedené diskusi dochází k rozvoji sociálních vazeb mezi všemi aktéry. Diskuse může být velice účinnou výukovou metodou, ale podobně jako u ostatních dialogických metod, není možné se na ni zcela přesně připravit. Protože nemůžeme úplně předvídat reakce žáků, diskuse může zamířit špatným směrem. Role učitele jako moderátora je proto velice důležitá. Další metodou je **dramatizace**. Uplatnění této metody bude v hodinách fyziky problematičtější. Základní myšlenkou je předvedení nějaké události či příběhu pomocí dramatické tvorby. Výhodou metody je rozvoj sociálních vazeb ve třídě, uvolnění atmosféry a rozvoj tvořivosti aktérů. Zajímavou metodou je **brainstorming**. Žáci ve

vymezeném čase předkládají různé myšlenky, které je k danému tématu napadají. Učitel tyto nápady zapisuje na tabuli a po uplynutí vymezené doby je analyzuje společně s ostatními žáky. Jednou z variant je **brainwriting**, při kterém se nápady zapisují na lístky.

Metody práce s učebnicí, knihou nebo obecně s nějakým učebním textem jsou velice rozšířené a z didaktického hlediska důležité. Žák by měl rozvíjet dovednost práce s učebním textem, protože tak zvyšuje svoji učební aktivitu. Samostatná práce s učebnicí může být velice efektivní výukovou metodou. Je však třeba žákům stanovit konkrétní úkoly, které budou plnit. Nestačí jen sdělit „nastudujte stránky 8 – 10 v učebnici“.

### **Metody názorně demonstrační**

Tyto metody spočívají v **pozorování** či aktivním **předvádění** dějů, procesů či objektů. Daný jev může být realizován přímo ve třídě, nebo je promítán (animace, videosekvence) pomocí vhodné techniky. Zvláštní skupinu tvoří **na dálku řízený experiment**, který je proveden ve vzdálené laboratoři, ale konkrétní atributy experimentu můžeme zadávat přímo ve třídě počítačem připojeným k internetu. Samotné pozorování nějakého jevu je náročný proces vyžadující poměrně dlouhé nacvičování. Učitel by měl průběžně zjišťovat, zda jeho žáci skutečně zaměřují pozornost na důležité objekty (procesy). Důležitou zásadou předvádění je pravidlo formulované J. A. Komenským. Toto pravidlo zdůrazňuje zásadu, aby byl předváděný předmět přístupný co největšímu počtu smyslů, protože jen tak je možné poznat daný předmět po všech stránkách.

Kvalitní animace či videosekvence dokáže dokreslit výklad či osvětlit procesy, se kterými se žáci nemohou setkat. Díky těmto prostředkům mohou žáci vidět mikroskopické děje, vzdálené hvězdy, procesy probíhající velkou rychlostí (řetězová reakce) nebo naopak velice pomalu (srážky galaxií). Je však třeba varovat před přílišným používáním těchto prostředků, které může žáky „otupit“ a znudit.

### **Metody praktické**

Díky těmto metodám dochází ke spojení osvojených poznatků a praktické aplikace. Rozvíjí se motorické dovednosti i kognitivní procesy. Z hlediska plnění senzomotorických cílů mají tyto metody nezastupitelné místo. Použití praktických metod poskytuje žákům hlubší a detailnější pohled na probíranou problematiku. Jednou z těchto metod je **instruktáž**, kterou můžeme rozdělit do 3 částí – vysvětlení nějaké činnosti, předvedení činnosti a nácvikem činnosti. Vhodné je aktivní zapojení žáků, kteří mohou ostatním předvádět správně osvojenou činnost.

## 2.7 Učební úlohy

Učební úlohy hrají důležitou roli v procesu vzdělávání. Žáci si díky těmto úlohám osvojují strategii, algoritmus řešení, což může být výhodnější než prostá znalost fyzikálních procesů. Podle použití úloh můžeme ve výuce vysvětlovat nějaký objekt, diagnostikovat stupeň osvojení, určit dosažení výukového cíle apod. Učební úlohy je vhodné rozdělit. Utřídění učebních úloh poskytuje taxonomie učebních úloh podle D. Tollingerové z roku 1970. Toto rozdělení vychází z Bloomovy taxonomie kognitivních cílů a úlohy jsou řazeny vzestupně podle náročnosti. U každého typu učebních úloh je uveden příklad.

### 1. Úlohy vyžadující pamětní reprodukci poznatků

#### 1.1 Úlohy na znovupoznání

*Lze přepólovat elektrolytický kondenzátor?*

*Který z uvedených vztahů  $C = p \cdot \frac{S}{d}$ ;  $C = \epsilon_0 \cdot \frac{S}{d}$ ;  $C = \epsilon_0 \cdot S \cdot d$  vyjadřuje závislost kapacity deskového kondenzátoru ve vakuu na ploše elektrod  $S$  a jejich vzdálenosti  $d$  ( $p$  označuje dipólový moment a  $\epsilon_0$  je permitivita vakua)*

#### 1.2 Úlohy na reprodukci jednotlivých faktů, čísel, pojmů apod.

*Vyjmenujte mechanismy polarizace dielektrika v elektromagnetickém poli.*

*Uveďte alespoň 3 druhy kondenzátoru z hlediska geometrické konstrukce.*

#### 1.3 Úlohy na reprodukci zákonů, definic, norem, pravidel apod.

*Definujte dielektrickou konstantu.*

*Jak zní Ampérovo pravidlo pravé ruky?*

#### 1.4 Úlohy na reprodukci větších textových celků

*Popište chování rezistoru, cívky a kondenzátoru v obvodu střídavého napětí.*

*Vysvětlete princip implozní jaderné bomby.*

### 2. Úlohy vyžadující jednoduché myšlenkové operace s poznatků

2.1 Úlohy na zjišťování faktů (např. měření, vyhledávání v tabulkách, čtení grafů a schémat, provádění jednoduchých výpočtů apod.)

*Vyhledejte v tabulkách hodnoty dielektrické konstanty vody, kyanidu draselného, benzenu a lihu.*

*Nalezněte v literatuře zapojení Schöringova můstku a zjistěte, které prvky obsahuje.*

#### 2.2 Úlohy na vyjmenování a popis faktů (výčet, soupis apod.)

*Vypište druhy kondenzátorů podle použitého dielektrika.*

*Popište, z jakých částí se skládá elektroskop.*

### 2.3 Úlohy na vyjmenování a popis procesů a způsobů činností

*Popište, jak nabijete elektroskop elektrostatickou indukcí.*

*Vyjmenujte metody měření elektrického odporu a charakterizujte je (schéma, prvky, rozbor, platné vztahy)*

### 2.4 Úlohy na rozbor a skladbu (analýza a syntéza)

*Uved'te části, ze kterých se skládá jaderný reaktor. Jak spolu tyto části souvisejí?*

*Proved'te rozbor Coulombova zákona.*

### 2.5 Úlohy na porovnávání a rozlišování (komparaci a diskriminaci)

*Z předloženým materiálů rozlište materiály elektricky vodivé a nevodivé.*

*Určete společné znaky dielektrik a polovodičů.*

### 2.6 Úlohy na třídění (kategorizaci, klasifikaci)

*Jaké materiály rozlišujeme z hlediska magnetických vlastností?*

*Předložené materiály rozříd'te z hlediska elektrické vodivosti.*

2.7 Úlohy na zjišťování vztahů mezi fakty (příčina, následek, cíl, prostředek, vliv, funkce, užitek, nástroj, způsob apod.)

*Jakou funkci plní hradlová vrstva v kapacitní diodě?*

*Co se stane s molekulou s nenulovým dipólovým momentem, když se dostane do elektromagnetického pole?*

### 2.8 Úlohy na abstrakci, konkretizaci a zobecňování

*Co mají společného ionty a elektrony?*

*Vztah pro výpočet celkové kapacity dvou kondenzátorů zapojených do série zobecněte pro zapojení  $N$  kondenzátorů do série.*

### 2.9 Úlohy kvantitativní, rutinní (s neznámými veličinami)

*Vypočítejte kapacitu deskového kondenzátoru, jestliže vzdálenost desek je  $d = 1\text{mm}$  a plocha desky je  $S = 15\text{cm}^2$ .*

## 3. Úlohy vyžadující složitější myšlenkové operace s poznatky

### 3.1 Úlohy na překlad (transformaci)

*Uved'te vzorec pro výpočet kapacity válcového kondenzátoru.*

*Znáznorněte graficky voltampérovou charakteristiku termistoru.*

3.2 Úlohy na výklad (interpretaci), vysvětlení smyslu nebo významu, zdůvodnění apod.

*Zdůvodněte využití kondenzátorů s velmi vysokou kapacitou ve výkonných audiosestavách v automobilech.*

*Vysvětlete, co znamená, že dielektrikum je polarizované.*

### 3.3 Úlohy na vyvozování (indukci)

*Z naměřených hodnot závislosti dielektrické konstanty na koncentraci roztoku vyvod'te vztah pro tuto závislost.*

### 3.4 Úlohy na odvozování (dedukci)

*Z definičního vztahu pro kapacitu odvod'te vztah pro kapacitu nabitě vodivé koule.*

### 3.5 Úlohy na dokazování a ověřování (verifikaci)

*Ověřte existenci termoelektretů.*

*Dokažte, že výsledný odpor spotřebičů spojených za sebou je roven součtu odporů jednotlivých spotřebičů.*

### 3.6 Úlohy na hodnocení

*Zhodnoťte přesnost měření kapacity kondenzátoru různými metodami.*

*Jaké jsou klady a zápory elektrolytických kondenzátorů a kapacitních diod?*

## 4. Úlohy vyžadující sdělení poznatků

### 4.1 Úlohy na vypracování přehledu, výtahu, obsahu, atd.

*Vypracujte stručný přehled kondenzátorů z hlediska jejich geometrické stavby a použitého dielektrika. Přehled doplňte tabulkou s technickým standardizovaným značením kondenzátorů podle kapacity.*

*Zpracujte stručný, ale výstižný obsah článku o termodielektrickém jevu na stránce*

*<<http://dielektrika.kvalitne.cz/termojev.html>>*

### 4.2 Úlohy na vypracování zprávy, pojednání, referátu, aj.

*Na internetu či ve vhodné literatuře nalezněte hodnoty dielektrické konstanty vody, těžké vody a alespoň pěti různých fází ledu. Čím se tyto materiály liší a co mají společného?*

*Problematiku zpracujte do krátkého referátu či prezentace a předneste před svými spolužáky.*

### 4.3 Samostatné písemné a grafické práce, výkresy, projekty apod.

*S pomocí vhodné aparatury naměřte teplotní závislost dielektrické konstanty kompozitních dielektrik. Vypracujte protokol o měření a uveďte chyby, které ovlivnily měření, odhadněte velikost těchto chyb a navrhněte zlepšení, které by tyto chyby omezilo.*

## 5. Úlohy vyžadující tvořivé myšlení

### 5.1 Úlohy na řešení praktických situací

*Námět na domácí činnost: Do plastových kelímků nalijte horkou a studenou vodu. S horkou vodou manipulujte opatrně! Kelímky umístěte do mrazáku a kontrolujte ve vhodných časových intervalech tvorbu ledu. Jaký kelímek dříve zamrzne? Celou proceduru několikrát opakujte.*

### 5.2 Úlohy na řešení problémových situací

*Voda je materiál s vysokou hodnotou dielektrické konstanty. Proč není používána jako dielektrikum v kondenzátorech?*

*Proč se do skleněného pohárku po babičce nesmí lít vroucí voda?*

### 5.3 Kladení otázek a formulace úloh

*Máme k dispozici tři kondenzátory o kapacitách  $C_1 = 1,5\mu\text{F}$ ,  $C_2 = 100\text{mF}$  a  $C_3 = 45\text{nF}$ .*

*Nalezněte všechny možné způsoby zapojení těchto kondenzátorů a vypočítejte celkovou kapacitu.*

*Když plochou baterii o elektromotorickém napětí 4,5 V připojíme k žárovce, zmenší se její svorkové napětí o 0,3 V, přičemž obvodem prochází proud 0,2 A. Vytvořte k nastolené situaci co největší počet otázek a ty pak vyřešte.*

### 5.4 Úlohy na objevování na základě vlastního pozorování

*Navrhněte a realizujte experiment, kterým by bylo možné měřit dielektrickou konstantu různých materiálů. Pomocí tohoto experimentu změřte dielektrickou konstantu běžných materiálů (lín, olej, plexisklo, bakelit apod.)*

### 5.5 Úlohy na objevování na základě vlastních úvah

*Pružný míč byl v určité výšce nad vodorovnou podlahou vržen svisle dolů. Může dosáhnout po odrazu od podlahy větší výšky, než je výška původní? Zvažte různé možnosti a své úvahy ověřte pokusem.*

Učební úlohy jsou podle této taxonomie rozděleny do 5 hlavních kategorií, které jsou dále členěny. Uvedené rozdělení je velice praktické při koncipování souborů úloh určených pro testování a hodnocení. Soubor by měl obsahovat úlohy ze všech pěti hlavních kategorií. S využitím taxonomie je možné zajistit pestrost souboru úloh a zamezit jednotvárnému, stereotypnímu způsobu řešení. Vhodné je každý soubor koncipovat dostatečně otevřeně, aby bylo možné jej modifikovat podle výukového cíle a celkové úrovně třídy resp. žáka. Soubor učebních úloh musí dosahovat určité didaktické hodnoty, která je určena výukovým cílem. Například rozvoj samostatného a tvůrčího myšlení zajišťují především úlohy z 3., 4. a 5. kategorie. Pokud je výukovým cílem prosté znovuvybavení či porozumění, v souboru by se měly objevit úlohy z 1. a 2. kategorie.

### 3 Obecně psychologická část

V této části se zaměřím na základní pojmy a principy obecné psychologie a psychologie osobnosti. Pochopení těchto zákonitostí je důležité pro efektivní práci s žáky.

Psychologie osobnosti je využívána v mnoha profesích. Učitelská profese není výjimkou. Psychologie osobnosti je v podstatě pokusem moderního člověka využít vědecké metody myšlení a výzkumu k tomu, aby lépe porozuměl sobě samému jako individu.

Psychologii osobnosti lze rozdělit do tří základních oblastí:

1) funkční systém osobnosti

Tato oblast psychologie osobnosti je zaměřena na jedince jako celek a zkoumá procesy jako vyrovnání se zklamání, chápání svého místa v sociálním prostředí či obrana před strachem.

2) ontogeneze osobnosti

Tato kapitola se snaží popsat a pochopit vývoj osobnosti, protože poznání dětské osobnosti má eminentní význam pro výchovu.

3) psychologie individuálních rozdílů

Jedná se o oblast popisující a vysvětlující individualitu lidí po psychologické stránce. Hlavní myšlenkou je, že plastičnost lidské nervové soustavy a rozmanitost sociálních vlivů vedou k individuální diferenciaci.

Souvislost mezi psychologií a pedagogikou je velice úzká. O jaký vztah jde, můžeme ukázat na paměti: psycholog zkoumá obecné zákonitosti vstípení a podržení v paměti, pedagog tyto zákonitosti uplatňuje, využívá jich, když žákům vštěpuje potřebné vědomosti. Podobně psycholog zkoumá zákonitosti citového vývoje a citového života a pedagog jeho poznatků využívá při pěstování žádoucích citů u žáků. Ve výchově se tedy aplikují poznatky o jednotlivých funkcích, které jsou zkoumány obecnou psychologií. Moderní pedagogika dobře ví, že výchova je především utvářením osobnosti. Pedagog nejen předkládá a vysvětluje učební látku, ale je také živým příkladem, „modelem“ osobnosti. Je třeba, aby od něj děti „odkoukaly“ zaujetí pro jeho obor a pro vzdělanost vůbec. Působí však i na složité procesy

vytváření žádoucích životních rolí, tvořivého a samostatného růstu dětské osobnosti.

V nápravné pedagogice je to ještě jasnější. Jde zde o to, aby se rozrušily nežádoucí komplexy představ, postojů a citů a aby se místo nich vytvořily nové – umožňující normální, zdravé zapojení jedince do společnosti. Zde se často nápravná pedagogika překrývá s psychoterapií.

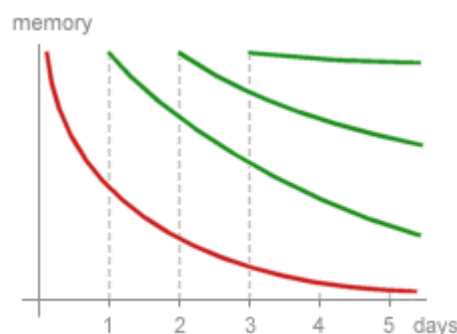
### **3.1 Kognitivní procesy**

Kognitivní procesy mají zcela zásadní vliv na vývoj osobnosti jedince. Díky kognitivním procesům jedinec poznává své okolí i sám sebe. Tyto procesy můžeme definovat jako všechny mentální poznávací procesy, které mohou být racionální i iracionální, vědomé i nevědomé. Konkrétně do této skupiny patří paměť, vnímání, kreativita, pozornost, myšlení, představivost či intuice. Jedná se tedy o velice obsáhlou kapitolu lidské psychiky. Navíc mluvíme o velice důležité oblasti psychiky, která silně ovlivňuje vývoj osobnosti a možné uplatnění ve společnosti. Kognitivní procesy mohou být narušeny a toto narušení mívá obvykle dalekosáhlé důsledky na celou osobnost. Rozvoj kognitivních procesů je nedílnou součástí procesu vzdělávání.

#### **3.1.1 Paměť**

Jedním z nejdůležitějších kognitivních procesů je paměť, tedy osvojení nějaké informace a její následné vybavení. Jedním z prvních badatelů, který se pamětí zabýval, byl Hermann Ebbinghaus. Jeho práce je dodnes zajímavá. Ebbinghaus zkoumal, jakou část učené látky je schopen si zapamatovat a následně vybavit v závislosti na času, který od procesu učení uběhl. Celý výzkum realizoval pomocí krátkých jednoslabičných slov bez jakéhokoliv významu. Použil slova jako DAX, BOK nebo YAT. Několik těchto slov se Ebbinghaus naučil a následně sledoval, kolik si jich je schopen vybavit následující den a ve dnech příštích. Zjistil, že počet vybavených slov s plynoucím časem postupně klesá. Když celou situaci graficky znázornil, dospěl k takzvané křivce zapomínání. Tato křivka je exponenciální funkcí. Ebbinghaus dále zkoumal změny této křivky po opakovaném učení použitých slov. Zjistil, že jeden den po prvním naučení látky si je schopen vybavit pouze asi 10 % slov. Pokud však učení opakoval, po několika dnech již ovládal přes polovinu učeného textu. To je samozřejmě dennodenní zkušenost každého studenta. Následující obrázek zobrazuje křivku zapomínání a závislost jejího průběhu na každodenním opakování učeného textu.





Na vodorovné ose jsou vynášeny jednotlivé dny a svislá osa nám ukazuje množství zapamatovaného textu. Všimněme si, jak křivka bez opakování velice rychle klesá. To znamená, že bez průběžného opakování si je jedinec schopen zapamatovat pouze zlomek z původního objemu informací. Ebbinghaus celý proces matematicky vyjádřil pomocí vztahu

$$R = e^{-\frac{t}{S}},$$

kde  $R$  je paměťová retence (schopnost udržet informaci),  $t$  je čas a  $S$  je relativní síla paměti. V rovnici vystupuje Eulerovo číslo  $e$ , jedno z takzvaných transcendentních čísel, mezi které patří mimo jiné i Ludolfovo číslo  $\pi$ .

V průběhu života člověk získává obrovské množství informací. Mezi nimi vybírá ty nejdůležitější a snaží se je zapamatovat. Z biologického pohledu vytváří a udržuje nervová spojení mezi neurony. Pokud se spojení neuronů vytvoří, je velice slabé. Až následné opakování zesílí spojení. V okamžiku, kdy spojení není obnovováno, nevratně zaniká. V průběhu života se mění způsob zapamatování, ale není pravda, že by starší lidé měli slabší relativní sílu paměti. Paměť můžeme cvičit rozmanitými způsoby, a tak ji ovlivnit. Mezi klasická paměťová cvičení patří šachy, křížovky, sudoku nebo učení cizího jazyka. Těmito cvičeními může jedinec své schopnosti do stáří nejen udržet, ale také v netušené míře dále rozvíjet logické myšlení a zvyšovat kreativní i mentální potenciál. Zde je vidět, jak úzce spolu kognitivní procesy souvisí. Rozvoj jedné části této oblasti může vést k aktivizaci dalších částí.

Zkoumání paměti samozřejmě Ebbinghausem neskončilo, a tak dnes máme celkem ucelenou představu o tomto kognitivním procesu.

Úhelnými kameny paměti jsou ukládání a vybavování informací. Amnézie vzniká při poškození jednoho nebo více těchto procesů. V lidském mozku je několik paměťových systémů, které se od sebe liší svým obsahem, časovým rozpětím, jež pokrývají, a svým anatomickým podkladem.

Velmi užitečné je rozdělení paměti na explicitní a implicitní. Explicitní paměť, někdy označovaná též jako deklarativní, se vztahuje k vědomému vybavování informací a dále se

dělí na paměť epizodickou a sémantickou. Epizodická paměť se týká uplynulých událostí a dějů, které jsme prožili a k nimž máme často osobní vztah (např. zážitky z dovolené, školní léta, citové vztahy). Naproti tomu všeobecné deklarativní informace, pojmy, zeměpisné znalosti, matematické vzorce, rovnice a řada dalšího faktografického materiálu, který si v průběhu života osvojujeme, jsou doménou sémantické paměti. Implicitní paměť zahrnuje především procesy na nevědomé úrovni, ukládání informace mimo vědomou kontrolu. Týká se například i osvojování některých dovedností (např. chůze), neasociativního učení, habituace, primingu, klasického podmiňování a bezděčných návyků.

Zkoumáme-li paměť detailněji z biologického hlediska, pak je paměť funkčním systémem mozku. Je organizovaná, hierarchizovaná, integrovaná a v dospělosti strukturálně fixovaná. Hipokampus zpracovává všechny senzorické informace. Silná emoce způsobí opakování, vrácení se. Amygdala se podílí na znovuvyvolání emočně laděných vzpomínek. Limbický systém zatím indiferentní informace emočně zbarví a pomůže je uložit do paměti. Prefrontální kortex je zpracuje na nejvyšší úrovni syntézy a analýzy. V asociačních systémech kůry probíhá mapování centrálních reprezentací, které registrují proměny zevního a vnitřního prostředí. Tyto mapy jsou vlastně paměťové stopy, které mohou být vyvolány pomocí asociačního kortexu.

Faktory paměti a myšlení tvoří funkční jednotu, neboť myšlení pracuje s informacemi (myšlenkové operace), které jsou dány, s informacemi uloženými v paměti a s informacemi, které jsou z daných a v paměti uložených informací odvozovány. V roce 1959 rozlišil J.P. Guilford několik druhů schopností určených faktorovou analýzou a označil je jako dimenze. Do dimenze inteligence zařadil i paměť, kterou dále analyzoval, jak ukazuje následující matice.

| Matice faktorů paměti |                                 |                                    |                                      |
|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| Druhy zapamatovaného  | Druhy obsahů paměti             |                                    |                                      |
|                       | Obrazové obsahy                 | Symbolické obsahy                  | Sémantické obsahy                    |
| Látka                 | Vizuální paměť                  | Rozpětí paměti                     | Abstraktní paměť pro významy a ideje |
|                       | Sluchová paměť                  |                                    |                                      |
| Asociace              | -                               | Paměť pro smysluprosté souvislosti | Paměť pro smysluplné souvislosti     |
| Systémy               | Paměť pro prostorové uspořádání | -                                  | Paměť pro časové průběhy             |

Proces zapamatování ovlivňuje mnoho činitelů. Pozitivně ovlivňuje zapamatování například opakování, vhodné členění učeného textu, důležitost, zájem, význam, praktické uplatnění a doba trvání pozornosti. V neposlední řadě také transfer, kdy již naučená látka podporuje učení látky nové. Kromě těchto pozitivních činitelů se však uplatňují i překážky zapamatování – retroaktivní a proaktivní interference. Retroaktivní interference působí zpětně na již osvojenou látku. Učená látka brání vybavení dříve učené látky. Proaktivní interference působí opačně. Již naučená látka brání osvojení látky nové. To můžeme pozorovat při učení druhého cizího jazyka. Dalším činitelem je pak aktuální psychický stav. Je zřejmé, že k zapamatování a vybavení dojde lépe v prostředí, které splňuje podmínky efektivního učení dané psychohygienou. Naopak ve stresu či úzkostném stavu může být látka pro vybavení nedostupná a zapamatování kvalitativně i kvantitativně horší.

### 3.1.2 Role paměti ve výuce fyziky

Ve vyučovacím procesu je role paměti nezastupitelná. Při pohledu na Bloomovu taxonomii však vidíme, že zapamatování je v této taxonomii zařazeno na úroveň nejnižší. Přesto bývá právě tato úroveň častým cílem evaluace. Akcentování této úrovně však vede k vytvoření špatných učebních návyků. Studenti často dané látce nerozumí, ale dokážou

pouze její obsah reprodukovat. Učitelé se pak setkávají se studenty, kteří dokáží dané téma poměrně obsáhle popsat, ale při otázce sledující porozumění látce nedokáží odpovědět. Je zřejmé, že dochází k pouhému mechanickému zapamatování, které je však z hlediska dalšího využití v praxi téměř bezcenné. Rámcový vzdělávací program se snaží o využití výukových metod, které by umožnily následnou evaluaci i vyšších úrovní Bloomovy taxonomie. Tento přístup je zcela oprávněný, protože se snaží řešit významný problém současného vzdělávání – výrazné rozšíření učení nazpaměť, které nevede k důkladnému osvojení daného tématu. Učiteli je tento způsob učení preferován pro svou jednoduchost. Lze snadno evaluovat poznatky reprodukované studentem při srovnání s tím, co bylo obsahem výkladu. Z historického hlediska je tento způsob tradiční. Zastánci často mluví o nezastupitelné roli učení nazpaměť. Do jisté míry mají pravdu v tom, že je třeba se určité poznatky z fyziky naučit stejně, jako je potřeba při studiu cizího jazyka se nazpaměť naučit jednotlivá slovíčka. Z Bloomovy taxonomie je rovněž zřejmé, že jednotlivé úrovně nelze přeskačovat. K přechodu na vyšší úroveň je nutné zvládnutí úrovně nižší. Ve výuce fyziky tak nemůžeme učení nazpaměť zcela vynechat. Otázkou je, které učivo je vhodné pro tento typ učení. Domnívám se, že základní veličiny a vztahy by měly být předmětem zapamatování. Učení se nazpaměť vzorcům by mělo být využíváno pouze u těch nejdůležitějších. Z několika základních vzorců je možné odvodit vztahy i pro další veličiny, a tak student nemusí znát přesně výsledek, ale pouze cestu k němu vedoucí. Reprodukování přesného znění definic by mělo být spíše výjimečné. Pokud je smysl definice zachován, nic nebrání v její reprodukci vlastními slovy. Výuku fyziky je vhodné zpestřit širokou škálou výukových metod. Dominantní využití pouze jedné výukové metody vede k „suchopárnosti“ výuky a zhoršení schopnosti zapamatovat si učenou látku. Využití prezentací (webových, PowerPointových apod.) či multimediální tabule vede k osvěžení výuky, které výrazně zvyšuje její efektivnost a atraktivnost. Zapamatování poznatků je pak snazší a hlubší.

### **3.1.3 Myšlení**

Z vnímání se ve spojení s praktickou činností a komunikací vyvinula vývojově vyšší forma poznávání – myšlení. Myšlení je způsob poznávání, který umožňuje překračovat vnímanou skutečnost a uspořádat ji do hierarchicky organizovaných významových struktur. V tomto smyslu je možno myšlení charakterizovat buď jako poznávání zprostředkované určitými operacemi s určitými kognitivními prvky, anebo jako proces, který z daných

informací vytváří informace nové, nebo je přetváří. Pojem informace zde má dvojitý význam: obsahový (umožňuje identifikaci něčeho) a selektivní (umožňuje diferenciaci podnětů).

Myšlení můžeme definovat jako „chápání a řešení problémů“ (Nakonečný, 2003). Pak můžeme říci, že funkce myšlení je zejména *řešení problémů* a problém je nějaká nežádoucí situace, která může být změněna na žádoucí. Podstata myšlení je „psychická (vnitřní) manipulace se symboly, s představami i vjemy jakéhokoli druhu“ (Říčan, 2008). Přičemž tato manipulace umožňuje analyzovat vztahy mezi jevy a na základě toho předpovídat jevy, jež nastanou – buď bez našeho přičinění, nebo v důsledku naší činnosti. To znamená, že myšlení nám také pomáhá účelně jednat. Jde o zvláštní, patrně nejsložitější a nejdokonalejší kognitivní proces, typický pro člověka. Myšlení je rovněž vývojově nejmladší a nejkřehčí funkce schopnostního aparátu, vyvíjí se nejpozději a nejvíce trpí únavou, alkoholem, nadměrným vzrušením, apod. Bylo provedeno mnoho pokusů se zvířaty, podle kterých usuzujeme, že jednoduché formy myšlení můžeme nalézt i u primátů a u řady vývojově ještě nižších živočichů. Pokud například umístíme do zorného pole šimpanze banán, který je mimo jeho dosah, ustane v pohybu (jakoby „přemýšlí“). Je-li zároveň po ruce dlouhá hůl, snadno problém vyřeší a banán si přisune. Úkol však můžeme ztížit a dlouhou hůl umístit mimo jeho dosah a v jeho dosahu bude pouze hůl krátká, která nepostačuje k přisunutí banánu, ale je dostatečně dlouhá k přisunutí delší hole. K vyřešení takového problému potřebuje šimpanz delší čas (opět se „zamyslí“), nicméně se banánu zmocní. Podobné počínání můžeme pozorovat i u dítěte, které není ještě tak vyspělé, resp. nemá tolik zkušeností s podobnými situacemi, aby tento problém vyřešilo v okamžiku, „bez přemýšlení“.

Je nutné rozlišit různé druhy myšlení, tj. jeho různé způsoby. Zásadně se rozlišují, při uplatnění různých hledisek, následující druhy myšlení:

- *konvergentní a divergentní myšlení*: termín divergentního myšlení je významově ekvivalentní termínu „tvůrčí myšlení“, jehož podstatným znakem je objevná a obecně hodnotná originalita, zatímco konvergentní myšlení probíhá v souladu se známými pravidly, neznamena však nutně mechanickou aplikaci určitého algoritmu či vzorce řešení;
- *diskurzivní a intuitivní myšlení*: diskurzivní myšlení je založeno na vědomě prováděných krocích, celý proces myšlení je subjektem plně uvědomován, zatímco intuitivní myšlení probíhá pod prahem vědomí, obvykle poté, co řešení problému bylo odsunuto, ale subjekt se problémem dále podvědomě zabývá, takže se řešení vynořuje náhle jako nápad, vhled či inspirace;

- *Obrazově názorné (vizuální) a pojmově logické myšlení:* obrazově názorné myšlení spočívá v podstatě v operacích s vjemy a představami (tj. obrazy objektů) a uplatňuje se převážně, nikoliv výhradně, při řešení konkrétních praktických úkolů, zatímco pojmově logické myšlení spočívá v operacích s pojmy a uplatňuje se zejména při řešení abstraktních problémů (oba druhy myšlení však mohou být také kombinovány). Je to myšlení specificky lidské, neboť jeho důležitou složkou je tzv. vnitřní řeč.

Zmíněný pojem divergentního myšlení souvisí podle některých badatelů s tvořivostí. Například J.P. Guilford tyto dva pojmy zcela ztotožňuje a pokládá za velice žádoucí rozvoj tohoto druhu myšlení v dětství. Úroveň divergentního myšlení můžeme zjišťovat několika způsoby. Jako vhodné se jeví zkoušky s otevřeným koncem, pro něž nejsou stanoveny správné a nesprávné odpovědi. Takové zkoušky mohou být verbální, ale také prostorové nebo dokonce hudební. V každém případě jsou děti žádány, aby vymysleli co nejvíce vhodných způsobů, jak vyřešit nějaký předložený problém. Například můžeme užít takzvané zkoušky „užití předmětu“, při níž se od dětí požaduje, aby napsaly co nejvíce možností použití pro běžné předměty jako cihla, sponka na papíry, sud, příkrývka, kniha atd. Jiný příklad je zkouška „významy slov“, při níž jsou žádány, aby vypsaly všechny možné významy příslušných slov. Ještě jiná je zkouška „následky“, v níž se od dětí žádá, aby přišly na co nejvíce možných následků uvedené změny v obvyklém řádu věcí (např. kdyby školník ztratil klíče od školy, nebo kdyby každý žil do sta let, nebo kdyby ze všech kohoutků místo vody teklo víno).

V učitelské praxi se můžeme setkat s poruchami kognitivních procesů. Je třeba je včas diagnostikovat, protože včasná léčba může mnoho problémů vyřešit.

Na úroveň myšlenkových pochodů soudíme převážně na základě verbálního projevu. Hodnotíme jeho rychlost, souvislost, přiléhavost, výpravnost a obsah, tedy stránku formální (kvantitativní) a obsahovou (kvalitativní).

Ke kvantitativním poruchám řadíme poruchu tempa myšlení: myšlení zpomalené (bradypsychické) je typické pro organické poruchy, hlubší depresi a některé formy schizofrenie. Zpomalení může dosáhnout tak výrazného stupně, že dotyčný na dotaz vůbec neodpoví, je mutistický. Opakem je myšlení zrychlené (tachypsychické), vyskytující se u manického syndromu nebo v některých intoxikacích. Porucha se projevuje překotnou mluvou, logoreou (chorobná povídavost), nálada je zpravidla chorobně zvýšená, expanzivní. Myšlení může být tak rychlé, že je subjekt nestačí převést v řeč, která se stává nesouvislou, pseudoinkohherentní.

Narušením řídicího elementu se projevuje myšlením roztržitým v důsledku představ se silným emočním nábojem, jež vedou k příčinným i povrchním a nahodilým asociacím. Myšlení je vedeno determinující tendencí; u některých poruch (demence, manický syndrom) hovoříme o zabíhavém myšlení se ztrátou determinující tendence. Naléhavé myšlenky se silným emočním nábojem se nazývají dominujícími představami, emocemi ovlivněné myšlení se nazývá myšlení katatymní. Pokud určitá představa člověka zcela ovládá, určuje dlouhodobě nebo trvale jeho zaměření, mluvíme o ovládací představě. Ulpívavé, perseverující myšlení se projevuje opakováním slov, objevuje se při únavě nebo jako chorobný příznak u organických poruch CNS. Nevýpravné myšlení je typické pro epileptické povahové změny, objevuje se i u demencí a mentální retardace. Je pro něj typická neschopnost pokročit ve vyprávění, subjekt se stále vrací ke stejné myšlence. Myšlenkový záraz označuje neočekávanou přestávku v toku myšlení – porucha je typická pro schizofrenní myšlení. Nesouvislé, inkoherní myšlení je typické především pro schizofrenii, kdy se ztrácí logický sled myšlenek v důsledku rozvolnění asociací. U rozpadu osobnosti (u chronické schizofrenie nebo u těžké demence) již nelze nalézt souvislost ani mezi jednotlivými slovy, takže hovoříme o slovním salátu.

Vážnou brzdou myšlení je jeho inhibovanost, nejčastěji neurotická. Můžeme mluvit o „strachu z vlastních nápadů“ u člověka, který byl – zejména v dětství – kárán za projevy samostatnosti jako za „hlouposti“ a chválen za projevy konvence, napodobování, šablony. Tvořivě myslící člověk si svým způsobem „hraje“, nebojí se ani absurdních nebo „zakázaných“ nápadů, přes něž často vede cesta ke kvalitnímu řešení problému.

Chyby v myšlení zkoumal například P.R. Hofstätter (1966), který rozlišil „*hloupost prvního a druhého druhu*“. Hloupost prvního druhu se vyznačuje neschopností spatřovat souvislosti a hloupost druhého druhu naopak spatřováním neexistujících souvislostí.

### **3.1.4 Role myšlení ve výuce fyziky**

Velké množství fyzikálních úloh je zaměřeno na rozvoj konvergentního myšlení. Tyto úlohy mají za cíl ukázat cestu k výsledku, která je jediná správná. Ze zadaných veličin nelze dospět k výsledku odlišným způsobem. Pouze malá část úloh využívá otevřených odpovědí. Takové úlohy rozvíjejí tvůrčí potenciál studentů, ale jejich využití v praxi není příliš hojné. Je zřejmé, že úlohy sledující pouze nižší úroveň Bloomovy taxonomie, jsou zaměřeny na konvergentní myšlení. Naopak úroveň vyšší (aplikace, hodnocení) lze využít při konstrukci úloh zaměřených na divergentní myšlení. Tyto úlohy pak sledují, zda student dokáže daný

poznatek tvůrčím způsobem využít. Příkladem mohou být otázky, které studenta přinutí k zamyšlení nad skutečností, která je nějakým způsobem v rozporu s realitou.

*Bylo by možné v technické praxi využít vodu, pokud by její dielektrická konstanta byla rovna*

$$\epsilon_r = 800 ?$$

*K čemu bychom mohli využít termodielektrický jev?*

Tyto otázky předpokládají porozumění látce a ponechávají prostor pro fantazii. Studenti tak musí využít kreativní přístup, který může přinést velice originální a cenné výsledky.

Domnívám se, že jedním ze základních úkolů výuky fyziky je podpora kritického myšlení. V populaci je silně zastoupen odlišný druh myšlení – myšlení magické. Právě magické myšlení je charakterizováno vírou v nadpřirozeno, tajemno. Patří sem víra v účinnost astrologie, numerologie, homeopatie apod. Tato témata nabízejí šanci k zajímavým diskuzím s žáky. Například alchymie a její pokusy o transmutaci kovů je příležitostí k zahájení výkladu jaderné fyziky. Mnoho významných fyziků (Newton, Boyle) se alchymií vážně zabývalo, a proto můžeme toto téma rozšířit o výklad historie fyziky.

### **3.1.5 Vnímání**

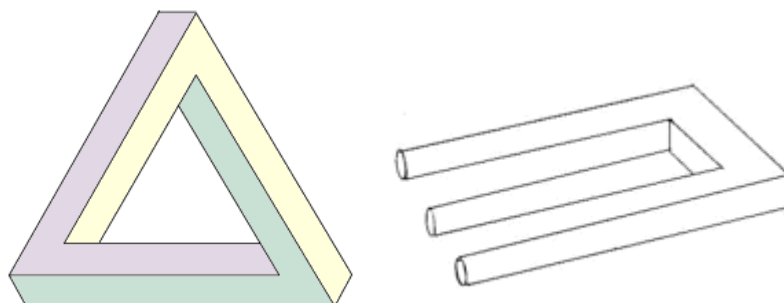
V roce 1941 napsal K. von Frisch: „Smyslové ústrojí vytváří mosty mezi okolním světem a vnitřním životem.“ Pojem vnímání nevztahujeme pouze k vnějšímu světu, ale zahrnuje i vnímání vnitřních stavů těla, pohybů apod. V tomto smyslu lze vnímání definovat jako „aktivní vytváření smyslového obrazu vnějšího světa, které se uskutečňuje v mozku za zprostředkování činnosti smyslových orgánů a paměťových stop obrazů věcí a dějů“ (Nakonečný, 2003). Vnímání je tedy „psychický proces, kterým zobrazujeme jevy působící v daném okamžiku na naše smyslové orgány a který je základem všeho poznávání, ostatní poznávací procesy zpracovávají údaje získané vnímáním“ (Čáp, 1980). „Psychický obraz objektu existujícího mimo naši mysl a působícího v dané chvíli na naše smysly nazýváme vjem“ (Říčan, 2008). Lidský psychofyzilogický aparát obsahuje velké množství receptorů, které zajišťují příjem informací z okolí. Příkladem může být lidské oko zajišťující optický vjem. Vnímání lze soustavným tréninkem výrazně zlepšit. Takové zlepšení pozorujeme například u degustátorů vína, malířů (rozeznávání barevných odstínů) či hudebníků. Obecně



lze říci, že lidé své vnímání zanedbávají. Velké rezervy jsou například patrné u zlepšení sluchu a hmatu u slepců. Vytváření náhradních systémů percepce experimentálně sledoval sovětský psycholog Leont'jev.

Významné poznatky o vnímání přinesly experimenty senzorické deprivace. Tato metoda spočívá v úplné izolaci jedince od zvukových, optických a dalších podnětů. Naprostá redukce smyslových podnětů není technicky realizovatelná, ale vytvořené prostředí příjem smyslových podnětů značně omezovalo. Jedinci byli umístěni do zvukově izolované místnosti a na očích měli brýle z mléčného skla. Na pažích měli zvláštní návleky, které redukovaly dotykové dojmy. Místnost byla slabě osvětlena a uvnitř zněl jen monotónní šum. V dalších experimentech byly osoby umístěny do nádob, ve kterých byla velmi slaná voda. Tento silně koncentrovaný roztok vody a soli nadnášel těla pokusných osob. Probandi mohli experiment kdykoliv ukončit. Zpočátku pokusné osoby uváděli neschopnost koncentrace na nějakou myšlenku, později se dostavily halucinace. S rostoucím časem stráveným v komoře se halucinace zesilovaly a byly podobné halucinacím, které vyvolává požití LSD. Po ukončení experimentu se dostavovalo silně pokřivené vnímání (pohybující se stěny, nepřírozené zakřivení ploch,...). Tohoto experimentu se dobrovolně zúčastnil i známý fyzik Richard Feynman. Ve své knize *To nemyslíte vážně, pane Feynmane!* popisuje pocit uklidnění v komoře a počínající halucinace. Experimenty poukazují na potřebu smyslových dojmů, což opět poukazuje na zásadní význam vnímání pro život člověka.

Vnímání člověka lze poměrně snadno ošálit. Existuje několik principů, na jejichž základě člověk vnímá přednostně některé prvky předkládaných obrázků a jiné zanedbává. Vzpomeňme například tzv. nemožné předměty. Jednotlivé části předmětů jsou analyzovány jako realizovatelné, ale až myšlenková syntéza celku nás upozorní na nerealizovatelnost předmětu. Konkrétními předměty jsou Penroseův trojúhelník a „ďáblova píšťala“ na Obr. 1.

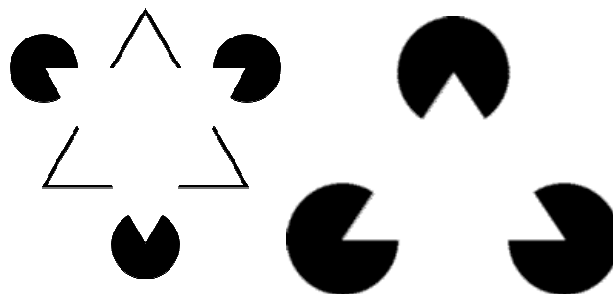


Obr. 1 – Penroseův trojúhelník a ďáblova píšťala

Z dalších principů ovlivňujících naše vnímání můžeme zmínit:

- Zákon blízkosti v prostoru – ve vjemu sdružujeme elementy navzájem blízké.

- Zákon uzavřenosti – ve vjemu sdružujeme do figury (obrazu, podoby) ty elementy, které dohromady dávají uzavřený tvar.
- Zákon podobnosti – ve vnímání sdružujeme ty elementy, které jsou si navzájem podobné.
- Zákon plynulého pokračování – vnímání sdružuje ty prvky, které na sebe plynule navazují.
- Zákon obeznámenosti – z pozadí vyčleníme známé předměty, přestože mohou být naznačeny nezřetelně.
- Zákon doplnění dobrého tvaru – je-li v našem zorném poli zřetelný náznak nějakého pravidelného tvaru, aktivita percepčního procesu vede k jeho doplnění



Obr. 2 – Zákon doplnění dobrého tvaru

Zajímavou oblastí je výzkum změněného stavu vědomí. Tyto stavy lze vyvolat meditací, dlouhodobým modlením a dalšími praktikami, které využívají některé církve a sekty. Jednou z možností je rovněž kontrolované požití drog. S drogami byly provedeny mnohé výzkumy. Výzkumy v Československu byly přerušeny v roce 1974, kdy bylo použití halucinogenních látek v léčbě a výzkumu zakázáno. Předchozí experimenty byly prováděny především v rámci klinického a armádního výzkumu. Armáda se o látky pozměňující vědomí velice zajímala. Cílem jejího výzkumu bylo syntetizování látky, která by byla vojensky využita pro zlepšení reakcí vojáků, zrychlení úsudku, zostření smyslů či zvýšení prahu bolestivosti. Zkoumány byly účinky mnoha látek mimo jiné i LSD-25. Výsledky však byly rozporuplné a od použití v bojové akci se ustoupilo. V současnosti občas prosakují zprávy o použití metamfetaminu u bojových pilotů armády USA. Tato látka však nepostihuje vědomí, spíše krátkodobě zvyšuje bdělost a výkonnost. U labilnějších jedinců může po odeznění účinků této látky dojít ke vzniku psychózy.

Kromě halucinací se může porucha vnímání projevit jako pseudohalucinace, kdy postižený vnímá něco, co neexistuje, ale je si toho vědom. Dále se vyskytují rovněž tzv. negativní halucinace, kdy postižený nevnímá něco, co nutně vnímat musí, např. osobu, která před ním stojí.

### 3.1.6 Role vnímání ve výuce fyziky

V souvislosti s výukou musíme zdůraznit roli vnímání. Tento kognitivní proces je zcela zásadní pro vytváření poznatků a chápání vykládané látky. Je zřejmé, že již drobná porucha vnímání způsobí neefektivnost výuky. Učitel by tedy měl sledovat, zda u některých problémových studentů nedochází k nepochopení probírané látky vlivem poruchy vnímání. Často se totiž může jednat o vadu některého z receptorů. Student může mít problémy se zápisem poznámek z tabule v důsledku krátkozrakosti. Tyto poruchy receptorů často odhalí první učitel, který by samozřejmě neměl spoléhat pouze na svou intuici a v závažnějších případech by měl vždy nechat diagnostiku na lékaři. Učitel se svými studenty tráví velké množství času, a proto by měl věnovat pozornost různým náznakům (např. „mhouření“ očí), které mohou vysvětlit případnou špatnou efektivitu vyučovacího procesu. Celý problém pak lze řešit přesunutím studenta blíže tabuli.

Během výuky je třeba studentům zajistit dostatečný komfort potřebný k efektivnímu vnímání. Nelze počítat s úspěšným výkladem, pokud probíhá v hlučné třídě, která je neustále rozptylována. V nižších ročnících základních škol můžeme pozorovat pouze krátkodobé udržení pozornosti. V dalších ročnících se situace postupně zlepšuje. Nemůžeme však od studentů čekat, že budou vnímat výklad celý den zcela stoprocentně. I zde hraje roli únava. Proto bychom měli důležitou látku a zásadní experimenty plánovat na vhodnou dobu. Samotné experimenty jsou podstatnou částí výkladu, a proto správné vnímání hraje zásadní roli. Často se můžeme setkat s nepochopením experimentu, které je způsobeno zaměřením pozornosti odlišným směrem, než jsme očekávali. Experiment musíme uvést seznámením s aparaturou a zdůrazněním významných částí pokusu. Pokud je to možné, pokus i několikrát zopakujeme.

Pokud během výkladu chceme použít multimediální prezentace, musíme zachovat několik pravidel. Jedná se o pravidla, která jsou předmětem psychohygieny. Nejhorší možnou variantou je prezentace složená z velkého množství snímků, které jsou zcela zaplněny textem, vzorci a grafy. Rychlým přeskokováním z jednotlivých snímků dosáhneme pouze naprosté apatie u studentů. Abychom se toho vyvarovali, musíme dbát na správné rozložení snímku, dostatek obrázků, dostatečnou velikost písma, vhodně zvolené kontrastní prostředí (text oproti pozadí snímku) a správný rytmus výkladu, který nesmí být překotný ale ani příliš rozvláčný. Zachováním těchto pravidel můžeme zvýšit efektivnost výuky.

### **3.1.7 Pozornost**

Na jedince působí okolí mnoha podněty, ale pouze některé jsou vnímány či vyvolávají pozornost. Tento stav je charakteristický tím, že jsme koncentrováni na jednu oblast dějů a ostatní odsouváme do pozadí a dále je vědomě neanalyzujeme. Některé výzkumy naznačují, že pouze miliontina až biliontina podnětů je předávána od smyslových orgánů do vědomí (A. Hajos, 1972). Pozornost může být koncentrována na objekty mimo nás a stejně dobře i na vlastní tělo či mysl. Pozornost můžeme rozdělit na dva základní typy. Rozeznáváme pozornost věnovanou úmyslně nějaké činnosti – hledání vhodného obchodu na ulici, pozorování člověka při práci, sledování televizního programu apod. Takové pozornosti říkáme „záměrná“. Existuje však i druh pozornosti, která není úmyslná. Jedinec se může zaměřit na oblast dějů mimoděk a této pozornosti říkáme „bezděčná“. V okamžiku zaměření pozornosti jedním směrem do značné míry ignorujeme ostatní vjemy a podněty. Například během hry či jiné zajímavé činnosti se plně koncentrujeme a ostatní vjemy odsouváme na okraj vědomí – neuvědomujeme si, že v místnosti hraje rádio. Tento jev byl i laboratorně zkoumán u kočky, v jejíž přítomnosti pustili badatelé metronom. Údery metronomu se projevovaly jako měřitelné výchylky v mozkových potenciálech. V okamžiku, kdy kočka byla ukázána myš, výchylky přestaly být měřitelné – jako by kočka náhle ohluchla. Fyziologicky můžeme tento jev vysvětlit jako optimální excitaci určité korové oblasti, zatímco jiné oblasti jsou ve fázi útlumu.

Činitele pozornosti můžeme rozdělit na činitele vnitřní a vnější. Za vnitřní činitele můžeme považovat aktuální potřeby (hladovějící člověk zaměřuje svoji pozornost na jídlo), zájmy (člověk zabývající se o auta si snadno všimne nějakého méně obvyklého modelu automobilu během procházky městem) a aktuální praxi (podnikatel věnuje pozornost konkurentům a jejich výrobním strategiím). Vnějšími činiteli jsou podněty, které jsou něčím nové, náhlé, neobvyklé, kontrastní a relativně intenzivní (v tichém prostředí upoutá pozornost i nepatrně hlučný zvuk).

Funkce pozornosti je tedy selektivní. Pozornost vyvolávají takové podněty, které jsou nějakým způsobem významné nebo něco významného signalizují (siréna, zvon, klakson).

### **3.1.8 Představy**

Podobně jako je vnímání psychická funkce vytvářející vjemy, představování si znamená vytváření představ. Představu pak můžeme chápat jako „obraz předmětu, který není

přítomen, pokud vůbec existuje nebo existoval“ (Říčan, 2008). Představa je tedy názorný obraz něčeho, co v daném okamžiku nepůsobí na naše receptory. Může se jednat o konkrétní předmět, vůni, tvář, bolest, pohyb, atd. Představy můžeme rozlišit na spontánní a navozené vlastním úsilím. Dalším typem jsou představy vsugerované jinou osobou. Představy lze do určité míry ovládat vůlí, existují ale stavy, kdy představy ovládat nelze (silný strach, velká touha, ...). Zajímavým tématem je funkce představ. Představy fungují jako náhradní uspokojení potřeb – představování si, co bychom dělali, kdybychom vyhráli v loterii, měli bicepsy kulturisty nebo ňadra modelky. Představy mohou být falešným únikem před realitou, nebo mohou sloužit k vyrovnaní vnitřního napětí. Funkcí představ může být i příprava před nějakou činností – to můžeme pozorovat u akrobatických lyžařů, kteří před skokem procvičují pohyby, které budou za letu provádět. Představy a hlavně mentální manipulace s nimi jsou předmětem testování rozumových schopností.

Výzkum představ byl dlouhou dobu opomíjen. Badatelé se domnívali, že představy jako předmět zkoumání jsou příliš subjektivní. Vlivem behaviorismu se v této oblasti udělal významný pokrok teprve nedávno. Zjištěné poznatky využívala psychoterapie ve formě řízené imaginace. Během řízené imaginace se představy pacienta rozvíjejí pod dohledem terapeuta, který pacienta nenásilně vede ke klasickým tématům lidské existence – smrt, zrození, rozchod, láska, nenávist apod. Výsledkem je hlubší sebepoznání, uvolnění a nový pohled na své osobní problémy. Průkopníkem v této oblasti byl slavný C.G. Jung.

Psychoterapie má kořeny v psychoanalýze, kterou sám její tvůrce Sigmund Freud (1856 – 1939) definoval jako „vědu o nevědomí“. Freud vytvořil psychoanalýzu na základě vlastní klinické zkušenosti. Jeho pacienti byli vídenští neurotici a Freud vytvořil teorii vzniku neurózy v důsledku sexuální frustrace. Avšak i u Freuda se pojetí neuróz vyvíjelo, a tak nakonec dospěl k myšlence, že neuróza vzniká díky potlačování Ega z jedné strany pudu (Id) nebo ze strany druhé morálkou (Superego). Práce Freuda je klasické dílo psychoanalýzy. Můžeme však říci, že již nedlouho po svém vydání je toto dílo podrobováno tvrdé kritice. Sám Freud některé své názory následně koriguje, ale dodnes panují pochybnosti o některých myšlenkách. V akademických kruzích je jeho teorie nepřijatelná. Velice kriticky se v tomto směru vyjadřuje německá neopsychoanalytička K. Horneyová, která například právem Freudovi vytýká, že nebral zřetel ke kulturním faktorům a tedy i rozdílům v psychice a svůj obraz člověka bral jako univerzální. Zdrcujícím způsobem pak odsuzuje Freudovo pojetí ženské psychiky, jehož základem bylo přecenění ženské „závisti penisu“. Podle Horneyové pak potřebuje psychoanalýza přehodnocení nikoliv vyvrácení. Zároveň však poukazuje na mnohé aspekty psychoanalýzy, které jsou do značné míry pouze spekulativní. Podobným

procesem prošla i díla takových velikánů, jako byl Jean Piaget. Jeho přístup k vývoji dětské psychiky (teorie kognitivního vývoje) patří mezi nejambicióznější a nejvíce revoluční teorie raného období lidského života. Přesto se nevyhnul kritice a jeho práce byla několikrát revidována. Příkladem může být práce L.S. Vygotského *Psychologie myšlení a řeči*. V této publikaci je diskutována především vnitřní a vnější řeč a vývojové přechody mezi nimi. Vygotskij zajímavě pohlíží na egocentrickou řeč dětí do 6 let a vysvětluje její vznik a následné vyhasnutí. Celá publikace je však koncipována jako kritika Piagetova přístupu.

Zajímavý pokus o kritickou integraci psychoanalýzy s poznatky teorie učení přináší teorie osobnosti Dollarda a Millera. Na základě četných pozorování a experimentů dospěli oba psychologové k závěru, že neurózy jsou naučené a jejich podstatou je *naučený strach*. Behaviorismus rovněž zdůrazňuje vliv nevědomí, a rozeznává tak *nevědomé učení*. Experimenty v této oblasti provedl v roce 1950 Greenspoon. Tento psycholog posadil své pokusné osoby zády k sobě a vyzval je, aby nahlas říkaly slova, která je napadnou. Odpovědi registroval na magnetickém záznamu. Vždycky, když pokusná osoba vyslovila nějaké slovo v množném čísle, zpevnil je tím, že řekl „mhmhmm“. V experimentální skupině počet slov uvedených v množném čísle v průběhu dalšího experimentu ve srovnání s kontrolní skupinou značně stoupal, pokusné osoby si však samy nebyly vědomy toho, že říkají stále více slov v množném čísle. To poukazuje na skutečnost, že zpevnění může být nevědomé a že může působit automaticky.

### **3.1.9            Role představ ve výuce fyziky**

Mnoho fyzikálních dějů probíhá na mikroskopické úrovni, a tak nejsou přístupné přímému vizuálnímu pozorování. Stejně tak se můžeme setkat s ději, které probíhají příliš pomalu, rychle nebo v obrovském prostoru. Tyto děje musíme pro studenty zpřístupnit pomocí vhodné analogie, počítačové simulace či správně nastaveným experimentem. Je však zřejmé, že například správné pochopení fyzikálních dějů uvnitř atomového jádra je založeno na správných představách o chování a stavbě elementárních částic a působení fyzikálních interakcí. Právě u mikroskopických dějů často narážíme na nesprávné představy, které vycházejí z běžné každodenní zkušenosti a vytvoření nesprávné makroskopické analogie. Mikroskopickými ději se zabývá kvantová mechanika, která si vytvořila pověst obtížně pochopitelné fyzikální teorie, ve které neplatí běžné zákonitosti. Tato pověst souvisí s výukou kvantové mechaniky. Kurz fyziky obvykle začíná výkladem klasické mechaniky. Studenti se seznámí s termíny jako trajektorie či hmotný bod a zjišťují, že klasická mechanika s výbornou

přesností popisuje děje, se kterými se dnes a denně setkávají. Pochopí, že při znalosti určitých veličin je možné zjistit místo dopadu vykopnutého fotbalového míče, nebo polohu planety na její cestě okolo Slunce. Tento determinismus je ve studentech pěstován od základní školy a s kvantovou mechanikou se podrobněji seznámí až na škole střední. Vidíme tedy, jak dlouhou dobu je v představách studentů zakořeněna možnost absolutně přesného popisu pohybu či lokalizace objektu. Myšlenkové konstrukce, které si studenti vytvoří během studia, jsou pak nabourány výkladem kvantové mechaniky. Například si můžeme všimnout, že již na základní škole se studenti setkávají s popisem stavby atomu. Na obrázcích jsou znázorněny elektrony, protony a neutrony jako kuličky s různými elektrickými náboji. Tato představa přetrvává velmi dlouho, než je nahrazena pravděpodobnostním popisem, který respektuje nemožnost lokalizace. Termíny jako trajektorie ztrácejí smysl a student zjišťuje, že dosavadní představy, které tak dobře souhlasily se skutečností, musí nahradit jinými. Zde nastává důležitý zlom. V této fázi je možné zavrnutí kvantové mechaniky ze strany studenta, který na tuto teorii začne nahlížet jako na něco příliš abstraktního, nepochopitelného. Podobný střet můžeme pozorovat při výuce speciální teorie relativity. Zde se učitelé setkávají s nepochopením nepřekročitelnosti rychlosti světla či vlnově částicového dualismu. Moderní fyzika tak patří mezi nejnáročnější partie výuky fyziky. Některé výzkumy ukazují, že v celosvětovém měřítku mají lidé představy o pohybu a jeho příčinách přednewtonovské.

### **3.2 Psychologie učení**

Z pohledu psychologie označujeme učení jako „utváření chování či změny v chování založené na využití (vlivu) zkušenosti a probíhající jako mechanismus podmiňování“ (Nakonečný, 2005). Někteří autoři chápou pojem podmiňování a učení jako synonymní. Vhodné je rovněž zmínit, že „naučené je opakem vrozeného“ (Čáp, 1980).

Podmiňování je vlastní všem živočichům. Zcela primitivní formy podmiňování jsou schopni dokonce i prvoci. Existuje mnoho druhů podmiňování. Velmi známé je *klasické podmiňování* (experimenty I. P. Pavlova). Jeho podstatou je spojení podnětů, přičemž časově předcházející podnět má signální funkci a je následován významným podnětem. V pokusech I. P. Pavlova bylo signálním podnětem rozsvícení červeného světla následované podáním potravy. Později psi vylučovali sliny již při rozsvícení světla. Podobné experimenty byly později realizovány i u lidí. Ukazatelem vytvoření dočasného spoje, vypracování diferenciací apod., byly fyziologické procesy (sekrece slin, reakce cév, změna kožního odporu,...).

Dalším druhem je pak *operační (instrumentální) podmiňování*. Zde dochází k vytvoření spojení významných podnětů a reakcí, které vedly k jejich získání, pokud byly pozitivní (získání potravy, únik z klece), nebo vedly k jejich odstranění či vyhnutí se jim, pokud byly negativní (bolestivý úder elektrickým proudem). Pokusy v této oblasti provedl E.L. Thorndike (koncem 19. a začátkem 20. století) převážně s kočkami. Zvířata se naučila, že určité podněty jsou signálem něčeho významného, určité reakce vedou k získání něčeho příjemného, nebo že se určitou reakcí lze vyhnout něčemu nepříjemnému. Jedinec se tak učí vzorcům chování (operanty), které vyplývají z důsledků jeho chování. Rozdílem oproti klasickému podmiňování je, že nesledujeme fyziologické projevy, ale spíše pohybové reakce (činnost kosterního svalstva). Zkoumaný jedinec má při experimenty více volnosti a je aktivnější. Učení probíhá na bázi pokus – omyl.

Z pedagogického hlediska je velmi důležité *učení jako řešení problému*. V době 1. světové války experimentoval v této oblasti W. Köhler. Pokusná zvířata (šimpanz) uváděl do problémových situací, např. umístění banánu do výšky, do které se šimpanz dostal až po sestavení malé věže z krabic. Podle Köhlera je nejdůležitější fází okamžik, kdy dojde k „vhledu“ do situace (německy Einsicht, anglicky Insight) a nalezení způsobu řešení. Oproti mechanistické koncepci pokusů a omylů, v případě mnohonásobného opakování byla zdůrazněna role kognitivních procesů a sloučila se problematika učení a problematika řešení problémů.

Osvojování pohybových dovedností nazýváme *senzomotorické učení*. Tento druh učení se zkoumal na základě častého opakování nějaké motorické činnosti (vázání tkalcovského uzlu, psaní na stroji). Z experimentů je patrné, že v počátcích učení trvá činnost poměrně dlouho, zatímco později dojde ke snížení potřebného času. Toto snižování potřebného času není lineární, může se vyskytnout tzv. „plató“, kdy jedinec dočasně nejeví žádné pokroky. Podstatnou metodou učení je zde cvičení, které chápeme jako „akčně programované zkušební provádění vzorců chování ... které jsou přiměřeně na úkoly, nebo na cíle orientovanému předvedení, vyvolávány z reakčního potenciálu“ (O. W. Haseloff a E. Jorswieck, 1972). Rozhodujícím činitelem je utváření senzomotorické koordinace (koordinace smyslových dojmů a příslušných pohybů).

Učení se způsobům sociálního chování, učení se „žít mezi lidmi“, nazýváme *sociální učení*. Jedinec se v průběhu života setkává s mnoha lidmi, a proto je logické zkoumat vytváření vazeb mezi nimi a zpracovávání poznatků plynoucích z těchto styků. Mnohé z těchto styků mají zcela zásadní povahu (matka – dítě, dítě – školní třída) a jsou svojí podstatou velice důležité pro další rozvoj jedince. Experimenty byly zaměřeny na učení dětí



napodobováním. Dětem byla promítnuta scéna, ve které se model choval surově k figuríně panáka. Děti byly rozděleny do tří skupin, přičemž v první byl model za své chování vůči figuríně chválen a odměňován, ve druhé byl napomínán a trestán a ve třetí nebyla agresivita hodnocena. Následně bylo dětem umožněno hrát si s totožnou figurínou. Byla prokázána zvýšená agresivita dětí z první skupiny. Z tohoto příkladu je zřejmé, jak velký vliv na děti mají postavy z televizních filmů a seriálů a jak snadno se tato „virtuální“ agrese přenesla do reálného života. Napodobování je rovněž mechanismus, který se ve velké míře podílí na vzniku nikotinu, alkoholismu, drogových závislostí a některých patologických projevů. Kromě napodobování můžeme rovněž nalézt zpevňování dané reakce druhými osobami nebo sociální skupinou – mluvíme o sociálním zpevňování. Příkladem může být dítě, které se uhodilo nebo dostalo hlad. Takové dítě začne křičet, dospělý přiběhne a začne dítě konejšit, chovat, nasytí je. Tímto procesem došlo ke zpevnění reakce a dítě v budoucnu bude řešit nepříjemné situace obdobně.

Dalším mechanismem sociálního učení je identifikace. Někteří badatelé nerozlišují mezi identifikací a napodobováním. Rozdíl je především v předmětu napodobování resp. identifikace. U napodobování přejímáme především vnější formy chování, identifikace se týká spíše vnitřních postojů, názorů a dalších charakteristik (např. statečnost, schopnost obětovat se pro druhé, ale i bezohlednost). Snad každý člověk se někdy s někým identifikoval a tento mechanismus pozorujeme spíše u dětí a mladých lidí. Osobou, se kterou se jedinec identifikuje, může být otec, učitel, známý sportovec, filmový či literární hrdina. Jedinec přijme vnitřní charakteristiky této osoby a dojde k jejich interioraci. Právě učení identifikací je důležitým mechanismem formování morálních aspektů osobnosti, morální výchovy a sebevýchovy.

Dalším druhem učení je *habituace* a *vtiskání*. Tyto formy učení se vyskytují i u zvířat na nižším stupni fylogenetického vývoje. Habituací rozumíme „změnu chování vyvolanou opakovanou nepřítomností negativního podnětu“ (Nakonečný, 2005). Typický příklad je ztráta ostražitosti veverek v parku, které se nechají krmit od lidí. Tento druh učení se však vyskytuje i u lidí. U běžného člověka například vyvolává ženský výkřik snahu nalézt danou osobu a případně pomoci. U jedinců, kteří sledují filmy s násilnou tematikou, však může dojít k jakémusi „přivyknutí“ a stejný výkřik je „nechá chladnými“.

V určitých fázích vývoje může dojít k impregnaci určitého klíčového podnětu – vtiskání. To můžeme pozorovat u housat těsně po jejich vylíhnutí, kdy dojde k impregnaci na „obraz matky“ redukováný na pohybující se předmět. Obraz matky je pak následován a je u něj hledána ochrana. Vznik stejné vazby pozorujeme i u dětí, případná nepřítomnost matky je

spojena s citovou deprivací a případnými nežádoucími důsledky v chování (R. Spitz, 1946). Těmito důsledky jsou plačtivost a anaklitická deprese. Pokud se jedná pouze o krátkodobou nepřítomnost matky, vývoj dítěte se normalizuje. V případě dlouhodobější absence matky jsou poruchy vývoje nezvratné.

### **2.3 Priming**

Velmi zajímavým psychickým procesem je priming. Jedná se o druh stimulace, podněcování, primární aktivace. Priming můžeme definovat jako „druh paměti na nevědomé úrovni, který však jedince ovlivňuje a orientuje“ (Kohoutek). Tento proces byl mnohokrát experimentálně prozkoumán, a to v rámci sociální psychologie, psychologie vnímání či aplikované psychologie. Výzkum se prováděl například primingem před testem ze všeobecných znalostí. Jedna skupina byla ovlivněna primingem na stereotyp univerzitní profesor, druhá skupina na stereotyp uklízečka. Priming byl realizován krátkým zamyšlením nad běžným dnem dané profese. Výsledkem bylo zjištění nepatrně lepšího výkonu osob, u kterých proběhl priming na stereotyp univerzitního profesora. Tyto výsledky můžeme vysvětlit na základě aktivace určitých schopností v důsledku aktivace určitého stereotypu.

## 4 Fyzikální část

### 4.1 Základní veličiny a vztahy v nauce o dielektrikách

V této kapitole jsou uvedeny důležité veličiny a vztahy, které jsou nezbytné pro pochopení fyzikálního popisu dielektrik.

#### 4.1.1 Elektrostatické veličiny

Pokusy z oblasti elektřiny a magnetismu patří mezi nejstarší fyzikální experimenty. Patří sem známé nabíjení ebonitové tyče třením liščíím ohonem. Tento a další experimenty dokazují, že je možné změnit stav tělesa – těleso můžeme elektricky nabít. Do jaké míry je těleso nabito určuje **elektrický náboj**, který označujeme  $Q$  a jeho jednotkou je coulomb. Jednotka elektrického náboje byla pojmenována na počest Charlese – Augustina Coulomba (1736 – 1806). Jednotku (1 coulomb) můžeme definovat jako elektrický náboj, který je přenesen elektrickým proudem o velikosti 1 ampéru za dobu 1 sekundy.

Elektrický náboj nabývá kladné nebo záporné hodnoty. Mluvíme o kladně nabitých tělesech, záporně nabitých tělesech a tělesech elektricky neutrálních. Tělesa nabitá stejným nábojem se odpuzují, tělesa nabitá opačným nábojem se přitahují. Elektrický náboj je zachovávací se veličinou. Elektrický náboj nelze stvořit či zničit, vždy se zachovává. Velikost elektrického náboje zůstává invariantní při transformacích vztažné soustavy. Pokud by tomu tak nebylo, elektricky neutrální kovová tyč by se po zahřátí nabíla. Elektrický náboj nemůže nabývat libovolné hodnoty. Existuje nejmenší možná hodnota elektrického náboje, kterou nazýváme **elementární náboj**. Hodnota elementárního náboje je rovna

$$e = 1,602176487(40) \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Sílu, kterou na sebe působí dva bodové náboje ve vakuu, označíme  $F_e$ . Velikost této síly je dána vztahem, který odvodil na základě experimentu Coulomb. Tento vztah (Coulombův zákon) je

$$F_e = k \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}, \quad (1 - IV)$$

kde  $Q_1$  a  $Q_2$  jsou velikosti bodových nábojů a  $r$  je jejich vzájemná vzdálenost. Síla  $F_e$  působí ve směru spojnice nábojů. Konstantu úměrnosti  $k$  můžeme rozepsat jako

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad (2 - IV)$$

kde  $\epsilon_0$  označuje **permitivitu vakua**. Tato volba konstanty je vyjádřením skutečnosti, že soustava SI je racionalizovaná. To znamená, že faktor  $4\pi$  se vyskytuje ve vztazích, které vyjadřují jevy s kulovou symetrií. Permitivita vakua je rovna

$$\epsilon_0 = 8,854187817 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

V okolí každého bodového náboje se vytváří elektrické pole. Silové účinky elektrického pole určuje veličina, kterou nazýváme **intenzitou elektrického pole**. Pro intenzitu elektrického pole platí vztah

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{Q} \quad (3 - IV)$$

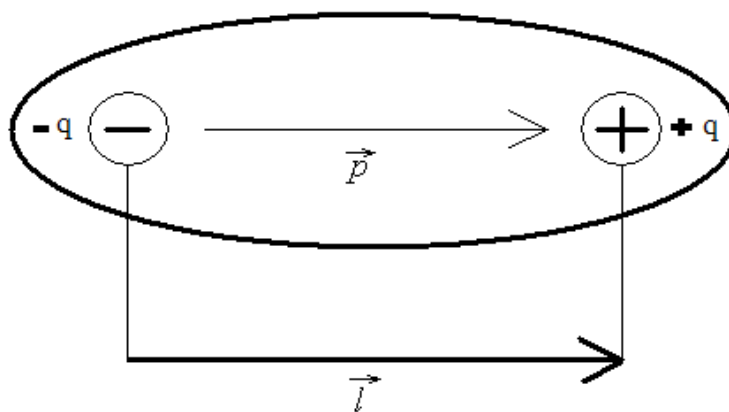
a jednotkou je  $[\vec{E}] = \text{N} \cdot \text{C}^{-1} = \text{V} \cdot \text{m}^{-1}$ . Zkušební náboj by měl být tak malý, aby neovlivnil měřené pole.

Materiály z hlediska elektrické vodivosti můžeme rozdělit na **vodiče**, **nevodiče** a **polovodiče**. Vodiče vedou elektrický proud a mezi tyto materiály patří například kovy. Polovodiče jsou zvláštní materiály, které vedou elektrický proud pouze za určitých podmínek. Nevodiče elektrický proud nevedou (pouze v případě průrazu). Tato skupina materiálů se nazývá **dielektrika**. V technické praxi se často můžeme setkat s termínem **izolant**. Izolant je materiál, který je využit pro nevodivé spojení dvou či více míst s různým potenciálem. Izolanty patří mezi dielektrika, ale dielektrikum nemusí být izolantem.

Podíváme-li se na dielektrikum z mikroskopického hlediska, zjistíme, že mnoho materiálů obsahuje molekuly uspořádané tak, že jedna část molekuly nese kladný náboj a druhá část náboj záporný. Takový útvar označujeme jako **elektrický dipól**, který charakterizujeme pomocí dipólového momentu  $p$ . Dipólový moment je dán vztahem

$$\vec{p} = q \cdot \vec{l}, \quad (4 - IV)$$

který vyjadřuje velikost dipólového momentu dvojice nábojů  $+q$  a  $-q$  ve vzdálenosti  $l$  (Obr. 1 – IV)

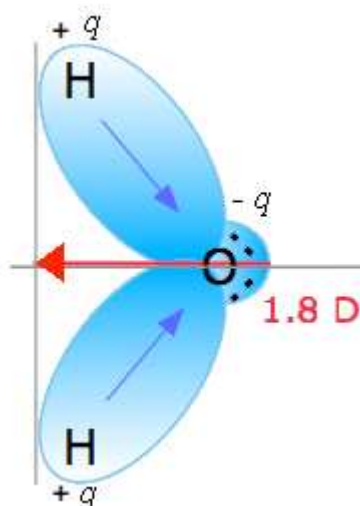


Obr. 1 – IV – Dipólový moment

Dipólem je i molekula vody. Dipólový moment molekuly vody je roven

$p_{\text{vody}} = 6,13 \cdot 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$  (Obr. 2 – IV). Ve starší literatuře se můžeme setkat s jednotkou debye, která se značí D. Tuto jednotku lze snadno převést vztahem

$$1\text{D} = 3,33564 \cdot 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$$



Obr. 2 – IV – Molekula vody s naznačeným dipólovým momentem

| Látka            | Dipólový moment [D] | Látka          | Dipólový moment [D] |
|------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| ethylen karbonát | 4,8                 | chlorbenzen    | 1,56                |
| nitrobenzen      | 4                   | dimethylanilin | 1,56                |
| acetamid         | 3,69                | anilin         | 1,56                |
| benzamid         | 3,66                | morfolin       | 1,5                 |
| acetonitril      | 3,5                 | kys. mravenčí  | 1,5                 |
| formamid         | 3,39                | brombenzen     | 1,5                 |
| benzonitril      | 3,21                | ethylamin      | 1,29                |
| nitromethan      | 3,1                 | dimethylether  | 1,26                |
| hydrazin         | 3                   | diethylether   | 1,26                |

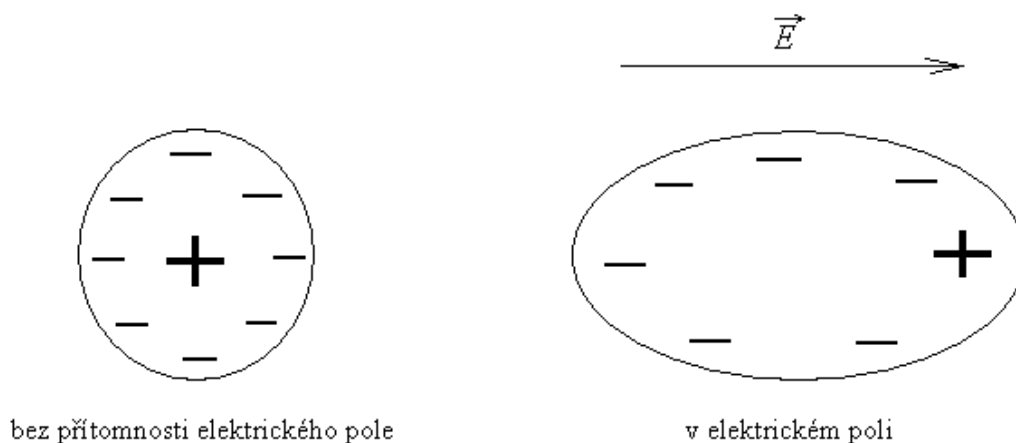
|                  |      |                  |      |
|------------------|------|------------------|------|
| aceton           | 3    | kys. octová      | 1,25 |
| kyanovodík       | 2,94 | methoxybenzen    | 1,2  |
| acetofenon       | 2,91 | chloroform       | 1,11 |
| benzofenon       | 2,7  | diethylamin      | 1,11 |
| acetaldehyd      | 2,49 | bromoform        | 1    |
| pyridin          | 2,31 | sirovodík        | 0,96 |
| kys. chloroctová | 2,31 | amoniak          | 0,9  |
| s-Trioxan        | 2,19 | triethylamin     | 0,84 |
| chinolin         | 2,1  | karbonylsulfid   | 0,72 |
| chlorethan       | 2    | ozón             | 0,66 |
| ethylenglykol    | 2    | furan            | 0,66 |
| propylenoxid     | 1,95 | thiofen          | 0,48 |
| ethylenoxid      | 1,89 | toluen           | 0,39 |
| ethylacetát      | 1,86 | oxid dusičitý    | 0,39 |
| methylbenzoát    | 1,86 | dioxan           | 0,39 |
| pyrrol           | 1,8  | ethylbenzen      | 0,36 |
| dichlormethan    | 1,8  | oxid dusnatý     | 0,15 |
| cyklohexanol     | 1,8  | styren           | 0,1  |
| bromethan        | 1,8  | tetrachlormethan | 0    |
| jodethan         | 1,74 | sirouhlík        | 0    |
| tetrahydrofuran  | 1,71 | oxid uhličitý    | 0    |
| ethanol          | 1,71 | kyslík           | 0    |
| methanol         | 1,65 | hexan            | 0    |
| fenol            | 1,59 | benzen           | 0    |

Tab. 1 – IV – *Dipólový moment molekul vybraných látek*

Vložíme-li dielektrikum do elektrického pole, dojde k přeskupení nabitých částic uvnitř materiálu. Na povrchu dielektrika můžeme pozorovat vázaný náboj. Tento proces nazýváme **polarizací dielektrika**. Elektrickou polarizaci označujeme  $\vec{P}$  a definujeme ji jako vektorový součet dipólových momentů v objemové jednotce. Platí tedy

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}}{\Delta V}. \quad (5 - IV)$$

Rozlišujeme 3 základní mechanismy polarizace. **Polarizace atomová** je způsobena deformací atomového obalu. Dochází k vychýlení kladného atomového jádra a protáhnutí záporného atomového obalu proti směru intenzity elektrického pole  $\vec{E}$  (Obr. 3 – IV).



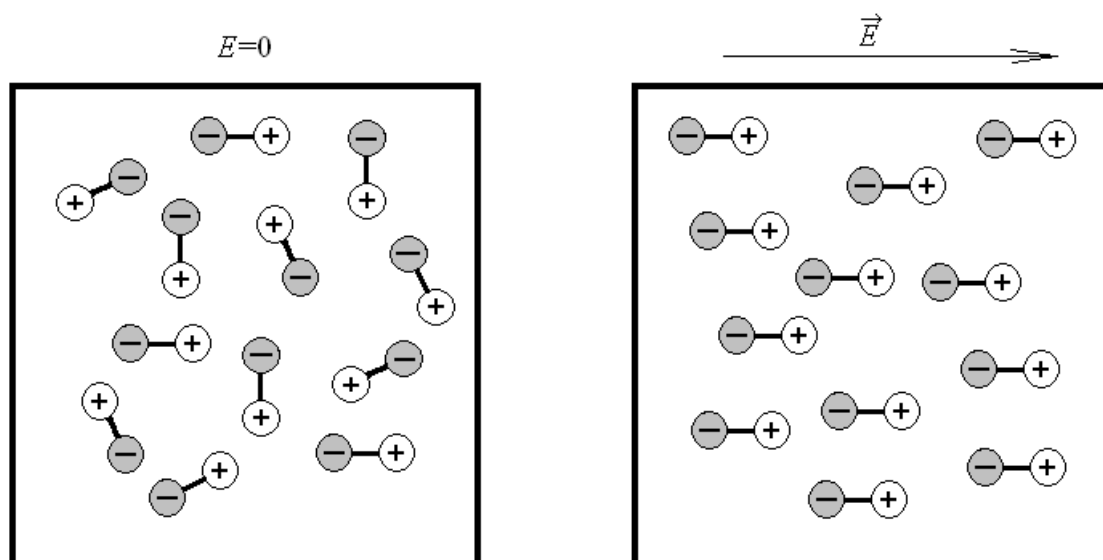
Obr. 3 – IV – Atomová polarizace

Dipólový moment vyvolaný atomovou polarizací je dán vztahem

$$\vec{p}_a = \alpha_a \epsilon_0 \cdot \vec{E}, \quad (6 - IV)$$

kde  $\alpha_a$  je součinitel atomové polarizace.

Dalším typem polarizace je **polarizace orientační**. Ta se může uplatnit jen v takové látce, kde se jednotlivé dipóly mohou natáčet a nejsou směrově vázány. V dielektriku bez přítomnosti vnějšího elektrického pole jsou molekulové dipóly natočeny náhodným směrem. Nemůžeme určit nějaký významný směr. V okamžiku přiložení vnějšího elektrického pole se situace změní. Molekuly se natočí podle směru intenzity elektrického pole  $\vec{E}$  (Obr. 4 – IV).



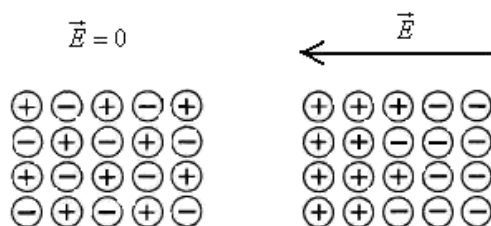
Obr. 4 – IV – Orientační polarizace

Pro dipólový moment vyvolaný orientační polarizací platí

$$\vec{p}_{or} = \alpha_{or} \epsilon_0 \cdot \vec{E}, \quad (7 - IV)$$

kde  $\alpha_{or}$  je součinitel orientační polarizace.

**Iontová polarizace** je způsobena vychýlením iontů v materiálu po přiložení elektrického pole. Ionty se vychylují z rovnovážných poloh ve směru intenzity elektrického pole  $\vec{E}$  (Obr. 5 – IV).



Obr. 5 – IV – Iontová polarizace

Pro dipólový moment vyvolaný iontovou polarizací platí vztah

$$\vec{p}_i = \alpha_i \epsilon_0 \cdot \vec{E}, \quad (8 - IV)$$

kde  $\alpha_i$  je součinitel iontové polarizace.

Při většině procesů, v nichž látka je podrobena účinkům elektrického pole, je možno toto vnější pole považovat za slabé ve srovnání s vnitroatomovým polem. Proto je možno považovat vztah mezi vektory  $\vec{E}$ ,  $\vec{P}$  za lineární, takže lze psát

$$\vec{P} = \chi_e \epsilon_0 \cdot \vec{E}, \quad (9 - IV)$$

kde  $\chi_e$  je **elektrická susceptibilita**. Tato bezrozměrná veličina je pro vakuum přesně a pro vzduch přibližně rovna nule. Pro libovolný jiný materiál nabývá hodnoty větší než nula. Platí, že

$$\epsilon_r = 1 + \chi, \quad (10 - IV)$$

kde  $\epsilon_r$  je **dielektrická konstanta**, což je materiálová konstanta. Celková permitivita materiálu je rovna

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r. \quad (11 - IV)$$

Elektrická susceptibilita anizotropního dielektrika se chová jako tenzor 2. řádu. Platí tedy vztah

$$\vec{P} = \overleftrightarrow{\chi} \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E}. \quad (12 - IV)$$

Rozložíme-li tento vztah na jednotlivé složky, dostáváme

$$\begin{aligned} P_x &= \epsilon_0 (\chi_{xx} E_x + \chi_{xy} E_y + \chi_{xz} E_z) \\ P_y &= \epsilon_0 (\chi_{yx} E_x + \chi_{yy} E_y + \chi_{yz} E_z) \\ P_z &= \epsilon_0 (\chi_{zx} E_x + \chi_{zy} E_y + \chi_{zz} E_z) \end{aligned} \quad (13 - IV)$$

Pro vektor **elektrické indukce**  $\vec{D}$  pak platí vztah



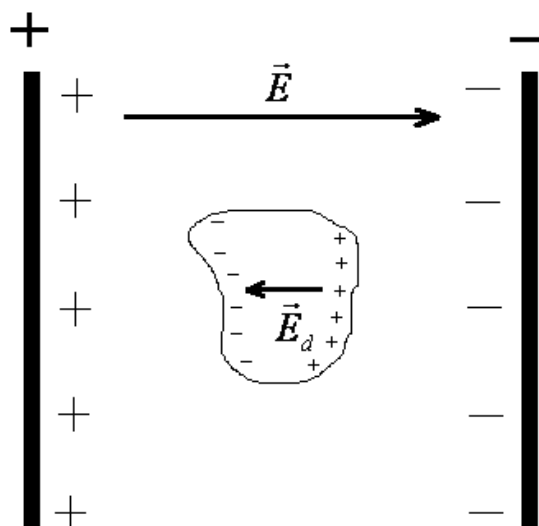
$$\vec{D} = \epsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P} . \quad (14 - IV)$$

Zde  $\vec{E}$  představuje vnitřní intenzitu elektrického pole. Pro popis dielektrika je zcela zásadní veličinou relativní permitivita, často nazývaná jako dielektrická konstanta. Tato bezrozměrná materiálová konstanta nabývá u normálních dielektrik hodnot od 1 (vakuum, vzduch) do 200 (některé fáze ledu). Dielektrickou konstantu můžeme po technické stránce definovat jako míru změny kapacity  $C_x$  kondenzátoru vyplněného dielektrikem oproti kapacitě  $C_0$  prázdného kondenzátoru. Pro dielektrickou konstantu pak dostáváme

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0} . \quad (15 - IV)$$

#### 4.1.2 Depolarizační faktor, lokální elektrické pole

Při popisu dielektrika je třeba respektovat rozdílnost vnějšího makroskopického elektrického pole  $\vec{E}$  a vnitřního lokálního pole působícího uvnitř materiálu. Důsledkem polarizace dielektrika je vznik depolarizačního pole. Situace je znázorněna na následujícím obrázku.



Polarizace  $P$  souvisí s depolarizačním polem  $\vec{E}_d$  vztahem

$$\vec{E}_d = -N \cdot \frac{\vec{P}}{\epsilon_0} . \quad (16 - IV)$$

kde  $N$  je depolarizační faktor, závislý na tvaru tělesa.

Ve vhodně uspořádaném vzorku jsou jedinými příspěvky celkového makroskopického pole  $\vec{E}$  vnější přiložené pole  $\vec{E}_0$  a depolarizační pole  $\vec{E}_d$ , tedy

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_d. \quad (17 - IV)$$

Ve vhodném vzorku (koule, rotační elipsoid, deska) uvažujeme homogenní polarizaci, která způsobuje homogenní depolarizační pole. Hodnota depolarizačního faktoru souvisí s geometrickým uspořádáním vzorku (Tab. 2 – IV)

| Tvar                 | Osa            | Depolarizační faktor |
|----------------------|----------------|----------------------|
| koule                | libovolná      | $\frac{1}{3}$        |
| tenká deska          | kolmá          | 1                    |
| tenká deska          | v rovině desky | 0                    |
| dlouhý kruhový válec | podélná        | 0                    |
| dlouhý kruhový válec | příčná         | $\frac{1}{2}$        |

Tab. 2 – IV – Depolarizační faktor různých geometrických útvarů

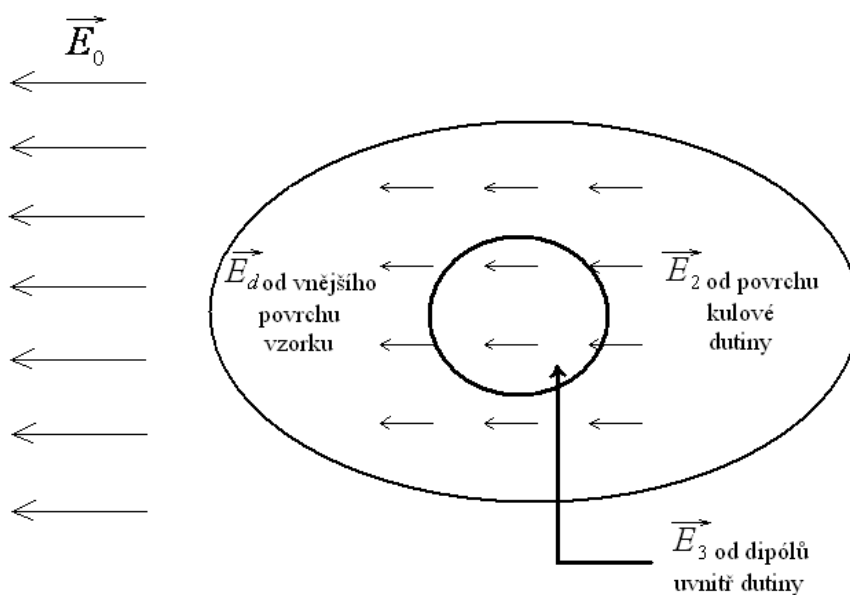
Například vnitřní makroskopické pole  $\vec{E}$  kulového vzorku bude rovno

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_d = \vec{E}_0 - \frac{1}{3\epsilon_0} \vec{P}. \quad (18 - IV)$$

Odvození vztahu pro **lokální vnitřní pole** poprvé provedl Henrik Antoon Lorenz (1852 – 1928), a proto někdy mluvíme o „lorenzovském lokálním poli“. Toto lokální pole  $\vec{E}_{lok}$  je výhodné rozdělit do složek

$$\vec{E}_{lok} = \vec{E}_0 + \vec{E}_d + \vec{E}_2 + \vec{E}_3, \quad (19 - IV)$$

kde  $\vec{E}_0$  je intenzita vnějšího přiloženého pole,  $\vec{E}_d$  je intenzita depolarizačního pole,  $\vec{E}_2$  je intenzita elektrického pole vyvolaná částicemi na povrchu myšlené kulové dutiny v dielektriku (Obr. 6 – IV) a  $\vec{E}_3$  je intenzita elektrického pole vyvolaná částicemi uvnitř této myšlené kulové dutiny.



Obr. 6 – IV – Vnitřní elektrické pole

Myšlená kulová dutina o poloměru  $r$  musí splňovat určité podmínky. Poloměr  $r$  musí být podstatně menší, než je vzdálenost elektrod. Prostředí vně kulové dutiny můžeme považovat za izotropní s makroskopickými vlastnostmi. Vliv jednotlivých částic vně kulové výseče tak můžeme zaměnit za vliv spojitého makroskopického prostředí, což značně usnadní výpočet.

Součet složek  $\vec{E}_d + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$  je dán celkovým polem, kterým na daný atom působí dipólové momenty všech ostatních atomů ve vzorku. Platí tedy

$$\vec{E}_d + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{3(\vec{p}_i \cdot \vec{r}_i) \cdot \vec{r}_i - r_i^2 \cdot \vec{p}_i}{r_i^5}. \quad (20 - IV)$$

Intenzita elektrického pole  $\vec{E}_2$  na povrchu kulové dutiny je rovna

$$\vec{E}_2 = \frac{1}{3\epsilon_0} \vec{P}. \quad (21 - IV)$$

Při využití tohoto vztahu a vztahu  $\vec{E}_{lok} = \vec{E}_0 + \vec{E}_d + \vec{E}_2 + \vec{E}_3$  zjišťujeme, že

$$\vec{E}_{lok} = \vec{E} + \frac{1}{3\epsilon_0} \vec{P}. \quad (22 - IV)$$

Tento Lorenzův vztah vyjadřuje skutečnost, že lokální elektrické pole působící na atom se rovná součtu makroskopického pole  $\vec{E}$  a pole  $\frac{\vec{P}}{3\epsilon_0}$ , což je složka způsobená ostatními atomy ve vzorku. Vztah platí pouze za předpokladu, že vnitřní struktura krystalu vede k podmínce, že  $\vec{E}_3 = 0$ .

### 4.1.3 Elektrická pevnost dielektrika

Důležitou veličinou v technické praxi je **elektrická pevnost**. Elektrické pole způsobuje polarizaci dielektrika. Při zvětšení intenzity elektrického pole se zvětšuje koncentrace volných nábojů a jejich pohyblivost. Pokud budeme intenzitu elektrického pole dále zvětšovat, dojde k tzv. *průrazu dielektrika*. Dielektrikum přestane oddělovat místa s různým potenciálem, vytvoří se vodivý kanálek, kterým mohou procházet značné proudy (omezujícím faktorem je pouze impedance zdroje napětí a přívodů k elektrodám). Průraz dielektrika označuje výboj vzniklý v pevných materiálech. U plynů a kapalin mluvíme o přeskoku. V pevných materiálech způsobí průraz nevratné změny struktury. Elektrická pevnost  $E_p$  tedy udává velikost průrazného napětí  $U_p$  lineárně přepočítaného na tloušťku dielektrika  $d$ . Dostáváme vztah

$$E_p = \frac{U_p}{d}. \quad (23 - IV)$$

Jednotkou elektrické pevnosti je pak kV/m. Následující tabulka pak udává hodnoty elektrické pevnosti pro některé materiály používané v technické praxi.

| Materiál                    | Elektrická pevnost [kV/cm] | Materiál                            | Elektrická pevnost [kV/cm] |
|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| methan (plynný)             | 20                         | suchý vzduch                        | 20 – 30                    |
| methylchlorid (plynný)      | 45                         | slída – muskovit                    | 400                        |
| dichlormethan (plynný)      | 125                        | slída – flogopit                    | 600                        |
| trichlormethan (plynný)     | 160                        | mikalex                             | 150                        |
| tetrachlormetan (plynný)    | 205                        | sklo                                | 500                        |
| pryskyřičný olej            | 200                        | porcelán                            | 340 – 380                  |
| šelak                       | 200                        | silikonový olej                     | 150                        |
| kalafuna                    | 100 – 150                  | přírodní asfalt                     | 300                        |
| včelí vosk                  | 25 – 30                    | surový kaučuk                       | 150                        |
| zemní vosk                  | 20                         | vulkanizovaná měkká pryž (neplněná) | 250                        |
| parafín                     | 250                        | tvrdá pryž                          | 250                        |
| chlorovaný naftalen         | 80 – 100                   | chlorovaný kaučuk                   | 200                        |
| hydrogenovaný ricinový olej | 80                         | gutaperča (neplněná)                | 200                        |

Tab. 3 – IV– Elektrická pevnost vybraných materiálů

## 4.2 Dielektrikum v proměnném elektrickém poli

### 4.2.1 Komplexní permitivita

Mezi dielektrická měření patří také měření, při nichž se sleduje elektrickými metodami chování dielektrik v časově proměnném elektrickém poli. Skutečnost, že látka je dielektrikem ve statickém poli však neznámá, že vodivost dielektrik musí být rovna nule i v časově proměnném elektrickém poli.

Vložíme-li dielektrikum do časově proměnného elektrického pole o intenzitě  $E$ , poteče dielektrikem proud, jehož hustota  $i$  bude dána rovnicí:

$$i = \sigma E + \frac{d}{dt}(\varepsilon E) \quad (24 - IV)$$

Vztah mezi hustotou proudu a intenzitou pole je podle této rovnice určen dvěma materiálovými veličinami, vodivostí  $\sigma$  a celkovou permitivitou  $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ . Obě tyto veličiny obecně závisí na velikosti intenzity elektrického pole, na tvaru její časové závislosti, na teplotě, tlaku a dalších faktorech. Poznání těchto závislostí je úkolem dielektrických měření. Výsledky měření pak umožňují studium některých zákonitostí ve stavbě dielektrik a mají význam pro jejich použití v technické praxi.

Permitivita a měrná vodivost však nejsou jedinými veličinami, kterými je možno popsat vlastnosti dielektrika. Měříme-li ve střídavém elektrickém poli harmonického průběhu, což je nejobvyklejší, je vhodné zavést pojem komplexní permitivita.

Je-li dielektrické těleso umístěno ve vnějším poli, které náhle změní svoji hodnotu například z  $E_1$  na  $E_2$ , nenabývá polarizace ihned hodnoty odpovídající změněné intenzitě pole. Těleso se dostane do odpovídajícího elektrického stavu až po určité době, kterou nazýváme **relaxační dobou**. Je zřejmé, že dielektrické vlastnosti látkového prostředí budou odlišné od statických hodnot pro pole měnící se v charakteristických časových intervalech srovnatelných nebo menších než relaxační doba. V těchto případech je nutné vzít v úvahu proces probíhající v látkovém prostředí vždy s konečnou rychlostí a vedoucí obecně ke zpoždění úrovně polarizace za příslušnou intenzitou pole. Na elektrický stav tělesa, který budeme vyjadřovat vektorem elektrické indukce  $\vec{D}(t)$ , bude mít vliv i průběh pole před časem  $t$ .

Tuto skutečnost vyjádříme vztahem:

$$\vec{D}(t) = \varepsilon_0 \left( \vec{E}(t) + \int_0^\infty \vec{E}(t-\tau) \cdot f(\tau) d\tau \right), \quad (25 - IV)$$

kde funkce  $f(\tau)$  udává, jaký je příspěvek pole k indukci v čase  $t$ , když v čase  $t - \tau$  mělo hodnotu  $E(t - \tau)$ . Je zřejmé, že  $f(\infty) \rightarrow 0$  nebo je konstantní. Pro praxi nejdůležitější případ nastává, když se intenzita elektrického pole mění harmonicky s frekvencí  $\omega$ . Pak tedy platí:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \cdot e^{i\omega t} \quad (26 - IV)$$

Vyjádříme-li též vektor indukce v této podobě, dostaneme po dosazení do vzorce (25 – IV):

$$\vec{D}_0 \cdot e^{i(\omega t - \delta)} = \varepsilon_0 \left( e^{i\omega t} + e^{i\omega t} \int_0^\infty e^{-i\omega\tau} f(\tau) d\tau \right) \cdot \vec{E}_0 \quad (27 - IV)$$

Zde  $\delta$  vyjadřuje zpoždění vektoru  $\vec{D}$  za intenzitou pole. Rovnici vynásobíme výrazem  $\frac{1}{e^{i\omega t}}$  a získáváme:

$$\vec{D}_0 \cdot e^{-i\delta} = \varepsilon_0 \left( 1 + \int_0^\infty e^{-i\omega\tau} f(\tau) d\tau \right) \cdot \vec{E}_0 \quad (28 - IV)$$

Nyní porovnáme reálnou a imaginární složku tohoto vztahu na obou stranách rovnice. Využijeme obecného vztahu pro komplexní čísla:

$$e^{\pm i\alpha} = \cos \alpha \pm i \sin \alpha, \quad (29 - IV)$$

který dosadíme do vztahu (28 – IV):

$$\vec{D}_0 \cdot (\cos \delta - i \sin \delta) = \varepsilon_0 \left( 1 + \int_0^\infty (\cos \omega\tau - i \sin \omega\tau) f(\tau) d\tau \right) \cdot \vec{E}_0 \quad (30 - IV)$$

Reálná část je tedy:

$$\vec{D}_0 \cdot \cos \delta = \varepsilon_0 \left( 1 + \int_0^\infty \cos \omega\tau f(\tau) d\tau \right) \cdot \vec{E}_0 \quad (31 - IV)$$

a imaginární část je dána vztahem:

$$\vec{D}_0 \cdot \sin \delta = \varepsilon_0 \left( \int_0^\infty \sin \omega\tau f(\tau) d\tau \right) \cdot \vec{E}_0 \quad (32 - IV)$$

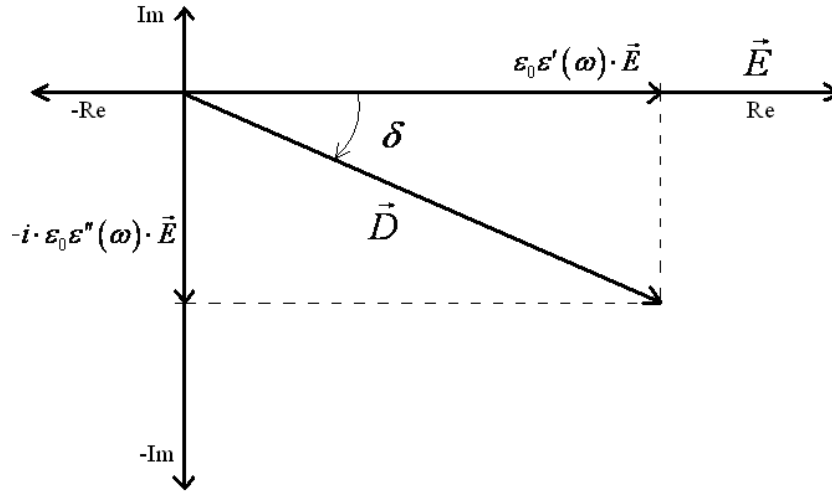
Vztah mezi vektory  $\vec{D}$  a  $\vec{E}$  však může být vyjádřen ve tvaru:

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E}_0 \cdot e^{i\omega t} = \varepsilon_0 \left( 1 + \int_0^\infty e^{-i\omega\tau} \cdot f(\tau) d\tau \right) \cdot \vec{E}_0 \cdot e^{i\omega t} \quad (33 - IV)$$

Vidíme, že  $\varepsilon_r$  je nyní komplexní veličinou, která může být zapsána ve tvaru:

$$\varepsilon_r = \varepsilon'_r - i\varepsilon''_r \quad (34 - IV)$$

Grafické znázornění komplexní permitivity je znázorněna na obrázku (Obr. 7 – IV).



Obr 7 – IV – Grafické znázornění komplexní permitivity

Porovnáme opět reálnou a imaginární složku ve výrazu (33 – IV), dostaneme:

$$\varepsilon'_r = 1 + \int_0^{\infty} \cos \omega \tau \cdot f(\tau) d\tau \quad (35 - IV)$$

$$\varepsilon''_r = \int_0^{\infty} \sin \omega \tau \cdot f(\tau) d\tau \quad (36 - IV)$$

To znamená, že:

$$D_0 \cdot \cos \delta = \varepsilon_0 \varepsilon'_r E_0 \quad (37 - IV)$$

$$D_0 \cdot \sin \delta = \varepsilon_0 \varepsilon''_r E_0 \quad (38 - IV)$$

Dále vypočítáme výkon, který se uvolní v objemové jednotce dielektrika za jednotku času. Zřejmě je:

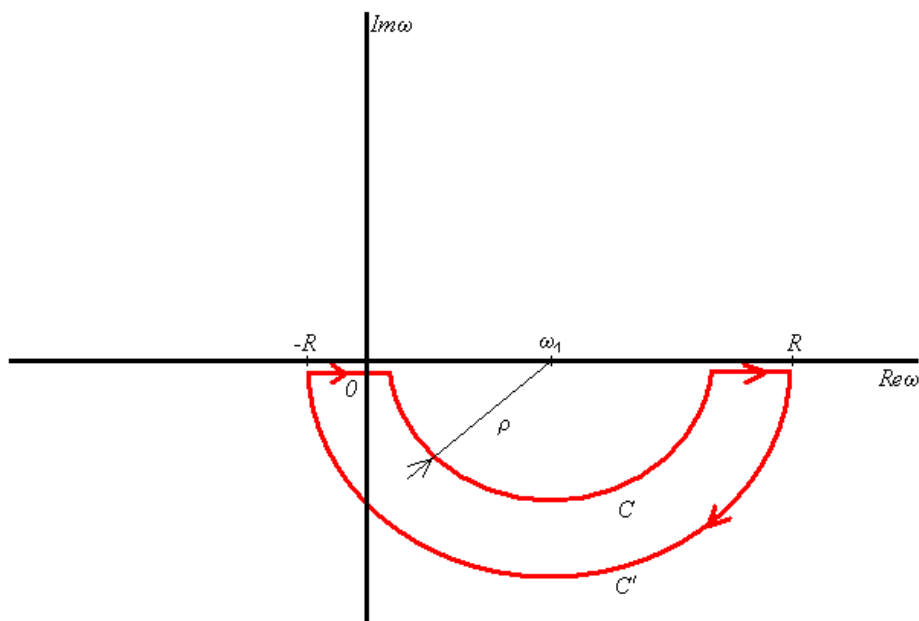
$$W_1 = \operatorname{Re} \left( \frac{1}{T} \int_0^T \vec{J}^* \cdot \vec{E} dt \right) = \operatorname{Re} \left( \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \cdot \vec{E} dt \right) = \operatorname{Re} \left( -\frac{1}{T} \int_0^T i \omega (\varepsilon'_r + i \varepsilon''_r) \varepsilon_0 E_0^2 dt \right) = \frac{1}{T} \int_0^T \omega \varepsilon''_r \varepsilon_0 E_0^2 dt$$

Odtud je patrné, že složka  $\varepsilon''_r$  souvisí s absorpcí vysokofrekvenční energie v dielektriku a nazývá se proto absorpční složkou komplexní permitivity. Složku  $\varepsilon'_r$  nazýváme disperzní složkou. Mezi oběma složkami komplexní permitivity platí Kramersovy – Kronigovy disperzní relace (příloha A).

Zavedeme komplexní hodnotu kruhové frekvence a budeme uvažovat funkci:

$$\frac{\varepsilon(\omega) - 1}{\omega - \omega_1} \quad (39 - IV)$$

kde  $\omega_1$  je pevně zvolená reálná hodnota a platí, že  $\omega_1$  je větší než nula. Výše uvedená funkce (39 – IV) je regulární ve všech bodech kromě  $\omega = \omega_1$ . Provedeme-li integraci podél křivky znázorněné na obrázku (Obr. 8 – IV), dostaneme nulu.



Obr. 8 – IV – Integrační cesta

Tento integrál může být rozepsán do čtyř částí:

$$I = \int_{C'} \frac{\varepsilon(\omega) - 1}{\omega - \omega_1} d\omega + \int_{-R}^{\omega_1 - \rho} \frac{\varepsilon(\omega) - 1}{\omega - \omega_1} d\omega + \int_C \frac{\varepsilon(\omega) - 1}{\omega - \omega_1} d\omega + \int_{\omega_1 + \rho}^R \frac{\varepsilon(\omega) - 1}{\omega - \omega_1} d\omega \quad (40 - IV)$$

Necháme-li růst  $R$  k nekonečnu a  $\rho$  klesá k nule, vymizí první integrál, neboť funkce

$\frac{\varepsilon(\omega) - 1}{\omega - \omega_1}$  klesá s rostoucím  $R$  jako  $\frac{1}{\omega^3}$ . Druhý a čtvrtý integrál dávají hlavní hodnotu

integrálu:

$$PV \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\varepsilon(\omega)}{\omega - \omega_1} d\omega \quad (41 - IV)$$

Zbývá tedy vyčíslit třetí integrál. Použijeme vztah:

$$\omega - \omega_1 = \rho \cdot e^{i\varphi} \quad (42 - IV)$$

Potom  $d\omega = i\rho e^{i\varphi} d\varphi$ , takže pro  $\rho \rightarrow 0$  bude:



$$\int_{\pi}^{2\pi} (\varepsilon(\omega_1) - 1) i d\varphi = \pi (\varepsilon(\omega_1) - 1) \cdot i \quad (43 - IV)$$

Dosadíme-li tento vztah do rovnice pro  $I$  [vztah (40 – IV)], obdržíme:

$$PV \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\varepsilon_r' - i\varepsilon_r''}{\omega - \omega_1} d\omega + \pi i (\varepsilon_r'(\omega_1) - i\varepsilon_r''(\omega_1) - 1) = 0 \quad (44 - IV)$$

Po porovnání reálné a imaginární složky:

$$\varepsilon_r'(\omega_1) = 1 + \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\varepsilon_r''(\omega)}{\omega - \omega_1} d\omega \quad (45 - IV)$$

$$\varepsilon_r''(\omega_1) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\varepsilon_r'(\omega)}{\omega - \omega_1} d\omega \quad (46 - IV)$$

Tyto disperzní relace jsou velmi obecnými vztahy mezi složkami komplexní permitivity.

#### 4.2.2 Měření frekvenční závislosti dielektrické konstanty

Frekvenční závislost dielektrické konstanty jsem měřil pro několik materiálů. Soustředil jsem se na běžně dostupné pevné látky. V první části této podkapitoly uvádím měření závislosti dielektrické konstanty na frekvenci u plexiskla, epoxidové pryskyřice a lisovaného plastu. Poté jsem vytvořil několik vzorků kompozitního dielektrika. Cílem bylo vytvoření vzorku s vysokou dielektrickou konstantou při použití běžných materiálů. Takový vzorek by velice usnadňoval výklad a demonstraci vlastností dielektrik při výuce. Běžně dostupné materiály z pevných látek nedosahují příliš vysokých hodnot dielektrické konstanty, a proto by mohlo být kompozitní dielektrikum přínosem pro výuku.

##### 1) Měření dielektrické konstanty Q-metrem

Kromě kapacitních můstků jsem pro měření dielektrické konstanty v závislosti na frekvenci užil Q-metru. Jednalo se o Q-metr Tesla BM 311 G. Rozsah frekvencí vysokofrekvenčního generátoru 50 kHz až 50 MHz. Dále byl použit přípravek pro měření dielektrik Tesla BP 3110 a cívky různých rezonančních frekvencí. Q – metr je zobrazen na obrázku (Obr. 9 – IV) včetně nasazeného přípravku pro měření dielektrik a zapojené cívky.



Obr. 9–IV – Q – metr Tesla BM 311G

Na obrázku (Obr. 10 – IV) je detailní pohled na přípravek pro měření dielektrik a zapojenou cívku. Měření s tímto přístrojem je velice jednoduché a intuitivní. Největším problémem je vytvoření vzorku vhodných rozměrů. V tomto případě se jedná o válec velice malé výšky (maximálně 4 mm). Přístroj je rovněž nutné před vlastním měřením zapnout a nechat alespoň 15 minut zahřívát. Teprve po tomto zahřátí můžeme měření považovat za přesné.



Obr. 10 – IV – Detail přípravku pro měření dielektrik

## 2) Postup při měření

Do Q-metru jsem zasunul dielektrikum a otáčením šroubu mikrometru jsem zjistil tloušťku dielektrika, kterou jsem označil jako  $d_1$ . Potom jsem k přístroji připojil cívku rezonující ve zvoleném kmitočtu. Pomocí ladícího kondenzátoru jsem vyhledal rezonanci a údaj odečetl jako  $C_x$ . Následně jsem vyňal zkoumané dielektrikum a otáčením šroubu mikrometru opět vyhledal rezonanci. Šířku vzduchové mezery mezi elektrodami přípravku pro měření dielektrik Tesla BP 3110 jsem označil jako  $d_2$ . Dielektrická konstanta je dána poměrem vzdáleností desek kondenzátoru, což můžeme zapsat jako:

$$\epsilon_r = \frac{d_1}{d_2}.$$

## 3) Zpracování výsledků měření

**Materiál:** lisovaný plast

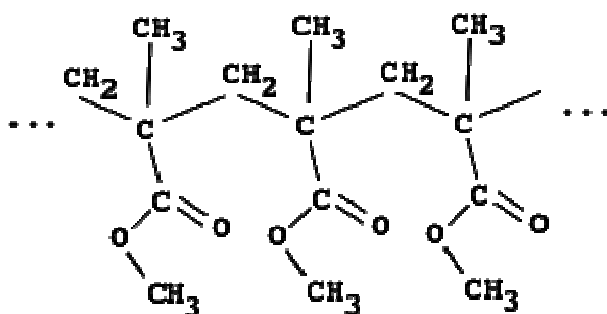
**Podmínky měření:**

|         |         |
|---------|---------|
| tlak    | 102 kPa |
| teplota | 23°C    |
| vlhkost | 48%     |

| Frekvenční závislost dielektrické konstanty lisovaného plastu |                      |            |            |              |
|---------------------------------------------------------------|----------------------|------------|------------|--------------|
| Tloušťka dielektrika: $d_1 = 2,324\text{mm}$                  |                      |            |            |              |
| číslo měření                                                  | rezonanční frekvence | $C_x$ [pF] | $d_2$ [mm] | $\epsilon_r$ |
| 1                                                             | 50 [kHz]             | 488        | 0,505      | 4,6          |
| 2                                                             | 100 [kHz]            | 78         | 0,515      | 4,51         |
| 3                                                             | 200 [kHz]            | 28         | 0,535      | 4,34         |
| 4                                                             | 300 [kHz]            | 25         | 0,545      | 4,26         |
| 5                                                             | 400 [kHz]            | 38,5       | 0,523      | 4,44         |
| 6                                                             | 500 [kHz]            | 91         | 0,557      | 4,17         |
| 7                                                             | 600 [kHz]            | 46         | 0,538      | 4,32         |
| 8                                                             | 700 [kHz]            | 141        | 0,543      | 4,28         |

|    |           |      |       |      |
|----|-----------|------|-------|------|
| 9  | 800 [kHz] | 95   | 0,551 | 4,22 |
| 10 | 900 [kHz] | 63   | 0,54  | 4,3  |
| 11 | 1 [MHz]   | 42   | 0,556 | 4,18 |
| 12 | 2 [MHz]   | 100  | 0,568 | 4,09 |
| 13 | 3 [MHz]   | 94   | 0,545 | 4,26 |
| 14 | 4 [MHz]   | 32   | 0,559 | 4,16 |
| 15 | 5 [MHz]   | 96   | 0,574 | 4,05 |
| 16 | 6 [MHz]   | 51   | 0,573 | 4,06 |
| 17 | 7 [MHz]   | 24,5 | 0,556 | 4,18 |
| 18 | 8 [MHz]   | 68   | 0,553 | 4,2  |
| 19 | 9 [MHz]   | 44   | 0,569 | 4,08 |
| 20 | 10 [MHz]  | 27   | 0,571 | 4,07 |
| 21 | 15 [MHz]  | 29   | 0,577 | 4,03 |
| 22 | 20 [MHz]  | 54   | 0,578 | 4,02 |
| 23 | 25 [MHz]  | 125  | 0,579 | 4,01 |
| 24 | 30 [MHz]  | 72   | 0,577 | 4,03 |
| 25 | 35 [MHz]  | 40   | 0,58  | 4,01 |
| 26 | 40 [MHz]  | 72   | 0,578 | 4,02 |
| 27 | 45 [MHz]  | 46   | 0,581 | 4    |
| 28 | 50 [MHz]  | 26   | 0,58  | 4,01 |

**Materiál:** plexisklo



Plexisklo, neboli polymetylmetakrylát, je průhledná bezbarvá amorfní látka. V současnosti má tento materiál rozmanité využití v mnoha oblastech lidské činnosti. Obvykle se používá jako náhražka skla z důvodu podobných vlastností obou materiálů. Plexisklo má však menší chemickou odolnost a tvrdost. Použití je opravdu široké. Plexisklo se využívá při výrobě optických médií, jako jsou CD a DVD. Plexisklo najdeme v automobilovém průmyslu či v lékařství.

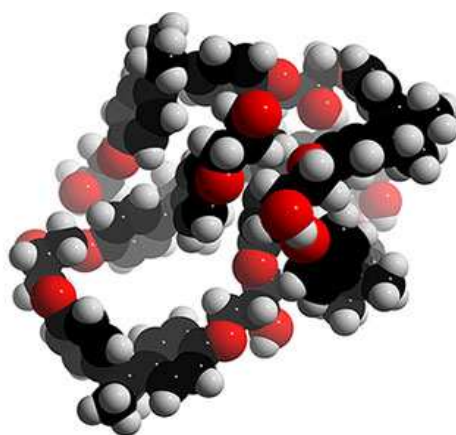
**Podmínky měření:**

|         |           |
|---------|-----------|
| tlak    | 101,1 kPa |
| teplota | 23°C      |
| vlhkost | 50%       |

| Frekvenční závislost dielektrické konstanty plexiskla |                      |            |            |              |
|-------------------------------------------------------|----------------------|------------|------------|--------------|
| Tloušťka dielektrika: $d_1 = 2,655\text{mm}$          |                      |            |            |              |
| číslo měření                                          | rezonanční frekvence | $C_x$ [pF] | $d_2$ [mm] | $\epsilon_r$ |
| 1                                                     | 50 [kHz]             | 510        | 1,367      | 1,94         |
| 2                                                     | 100 [kHz]            | 94         | 0,965      | 2,75         |
| 3                                                     | 200 [kHz]            | 41,5       | 0,965      | 2,75         |
| 4                                                     | 300 [kHz]            | 38         | 0,94       | 2,82         |
| 5                                                     | 400 [kHz]            | 52         | 0,963      | 2,76         |
| 6                                                     | 500 [kHz]            | 104        | 0,963      | 2,76         |

|    |           |     |       |      |
|----|-----------|-----|-------|------|
| 7  | 600 [kHz] | 60  | 0,966 | 2,75 |
| 8  | 700 [kHz] | 154 | 0,977 | 2,72 |
| 9  | 800 [kHz] | 113 | 1,358 | 1,96 |
| 10 | 900 [kHz] | 77  | 0,97  | 2,74 |
| 11 | 1 [MHz]   | 55  | 0,963 | 2,76 |
| 12 | 2 [MHz]   | 26  | 0,975 | 2,72 |
| 13 | 3 [MHz]   | 30  | 0,994 | 2,67 |
| 14 | 4 [MHz]   | 45  | 0,988 | 2,69 |
| 15 | 5 [MHz]   | 108 | 0,994 | 2,67 |
| 16 | 6 [MHz]   | 63  | 0,991 | 2,68 |
| 17 | 7 [MHz]   | 117 | 0,963 | 2,76 |
| 18 | 8 [MHz]   | 81  | 0,995 | 2,67 |
| 19 | 9 [MHz]   | 56  | 0,998 | 2,66 |
| 20 | 10 [MHz]  | 136 | 1,027 | 2,59 |
| 21 | 15 [MHz]  | 41  | 1,006 | 2,64 |
| 22 | 20 [MHz]  | 67  | 0,997 | 2,66 |
| 23 | 25 [MHz]  | 138 | 1,012 | 2,62 |
| 24 | 30 [MHz]  | 85  | 1,004 | 2,64 |
| 25 | 35 [MHz]  | 53  | 1,007 | 2,64 |
| 26 | 40 [MHz]  | 86  | 1,023 | 2,6  |
| 27 | 45 [MHz]  | 60  | 1     | 2,66 |
| 28 | 50 [MHz]  | 42  | 1,024 | 2,59 |

**Materiál:** epoxidová pryskyřice



Tato pryskyřice se vyrábí nejčastěji pomocí reakce epichlorhydrinu a bisfenolu A. Poprvé byla tato pryskyřice vyrobena v roce 1936, ale první pokusy o její syntézu se datují do roku 1927. Dnes se tento materiál používá především jako nátěrová hmota. Po zatuhnutí dosahuje výborné tvrdosti a poskytuje výbornou ochranu proti abrazi. Epoxidová pryskyřice má vynikající adhezi ke kovovým materiálům a je odolná proti působení UV záření, což umožňuje její použití v exteriérech.

**Podmínky měření:**

|         |          |
|---------|----------|
| tlak    | 99,6 kPa |
| teplota | 24°C     |
| vlhkost | 51%      |

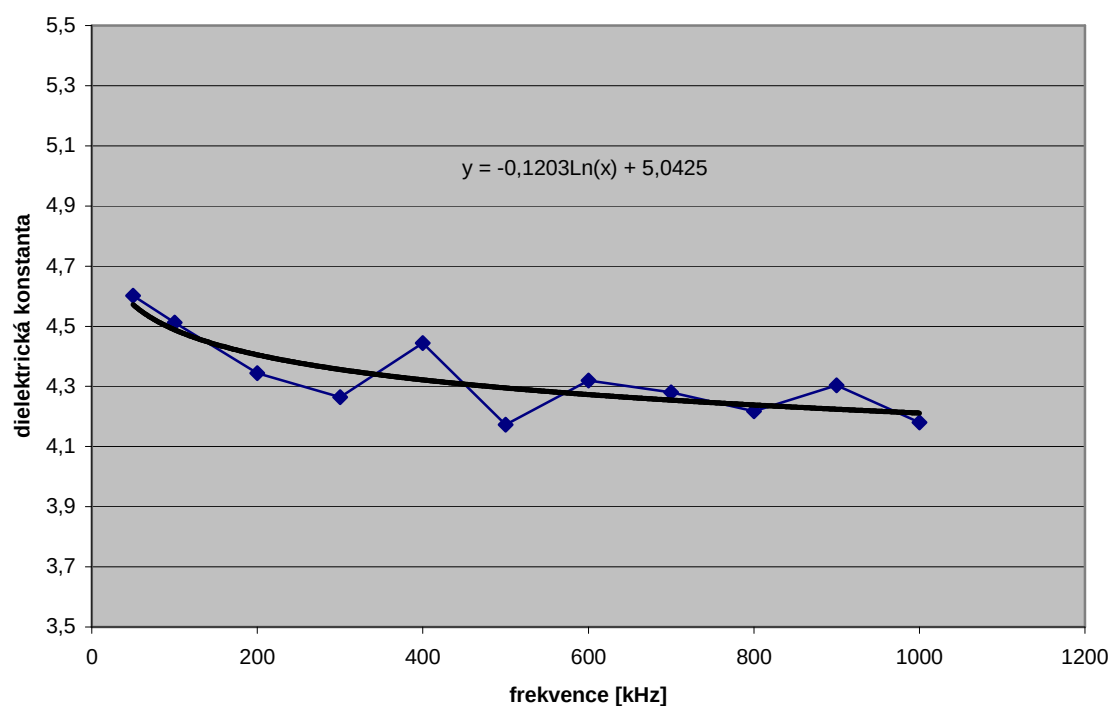
| Frekvenční závislost dielektrické konstanty epoxidové pryskyřice |                      |            |            |              |
|------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|------------|--------------|
| Tloušťka dielektrika: $d_1 = 1,718\text{mm}$                     |                      |            |            |              |
| číslo měření                                                     | rezonanční frekvence | $C_x$ [pF] | $d_2$ [mm] | $\epsilon_r$ |
| 1                                                                | 50 [kHz]             | 498        | 0,67       | 2,56         |
| 2                                                                | 100 [kHz]            | 88         | 0,67       | 2,56         |
| 3                                                                | 200 [kHz]            | 36         | 0,695      | 2,47         |
| 4                                                                | 300 [kHz]            | 33         | 0,682      | 2,52         |
| 5                                                                | 400 [kHz]            | 45         | 0,663      | 2,59         |

|    |           |      |       |      |
|----|-----------|------|-------|------|
| 6  | 500 [kHz] | 98   | 0,703 | 2,44 |
| 7  | 600 [kHz] | 54   | 0,695 | 2,47 |
| 8  | 700 [kHz] | 29   | 0,696 | 2,47 |
| 9  | 800 [kHz] | 102  | 0,68  | 2,53 |
| 10 | 900 [kHz] | 72   | 0,708 | 2,43 |
| 11 | 1 [MHz]   | 48   | 0,658 | 2,61 |
| 12 | 2 [MHz]   | 106  | 0,665 | 2,58 |
| 13 | 3 [MHz]   | 23,7 | 0,688 | 2,5  |
| 14 | 4 [MHz]   | 40   | 0,71  | 2,42 |
| 15 | 5 [MHz]   | 102  | 0,68  | 2,53 |
| 16 | 6 [MHz]   | 57   | 0,697 | 2,46 |
| 17 | 7 [MHz]   | 32   | 0,722 | 2,38 |
| 18 | 8 [MHz]   | 86,5 | 0,744 | 2,31 |
| 19 | 9 [MHz]   | 50   | 0,689 | 2,49 |
| 20 | 10 [MHz]  | 33   | 0,696 | 2,47 |
| 21 | 15 [MHz]  | 37   | 0,753 | 2,28 |
| 22 | 20 [MHz]  | 62   | 0,739 | 2,32 |
| 23 | 25 [MHz]  | 27   | 0,752 | 2,28 |
| 24 | 30 [MHz]  | 80   | 0,746 | 2,3  |
| 25 | 35 [MHz]  | 48   | 0,752 | 2,28 |
| 26 | 40 [MHz]  | 27   | 0,727 | 2,36 |
| 27 | 45 [MHz]  | 53   | 0,707 | 2,43 |
| 28 | 50 [MHz]  | 34,5 | 0,704 | 2,44 |

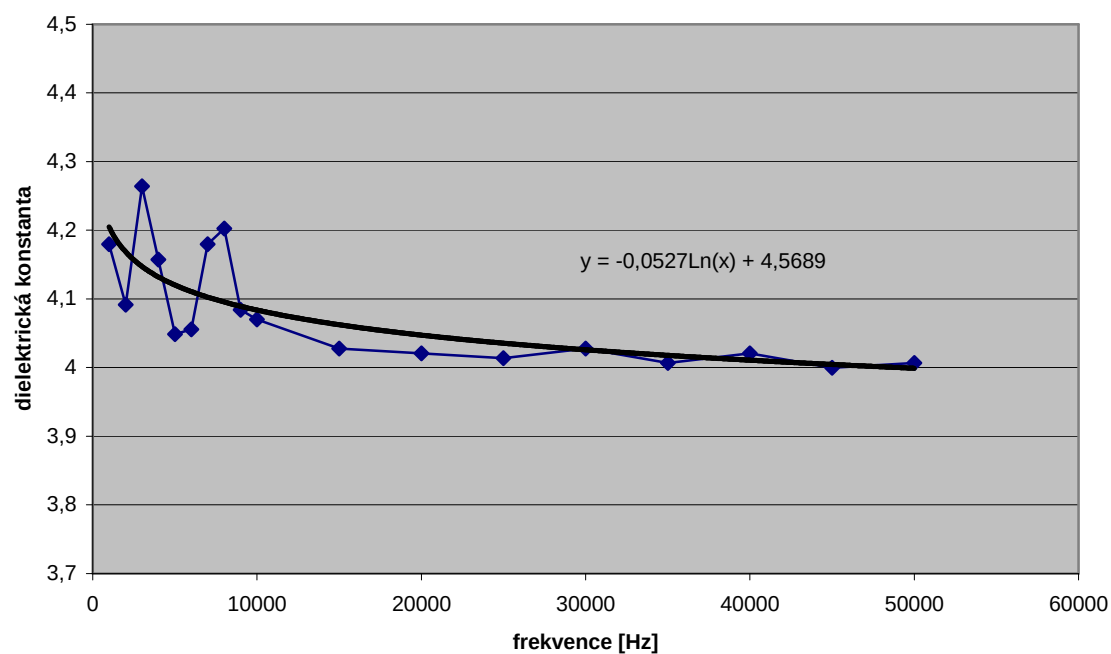


## Grafické zpracování výsledků měření:

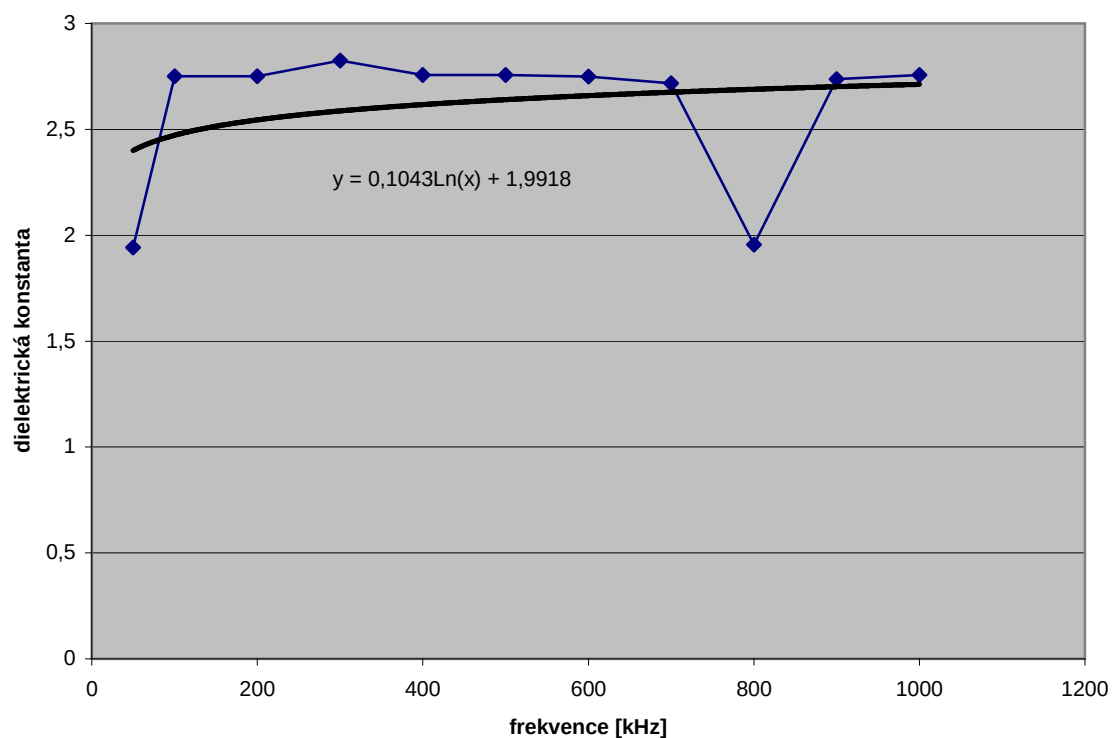
Závislost dielektrické konstanty na frekvenci - lisovaný plast



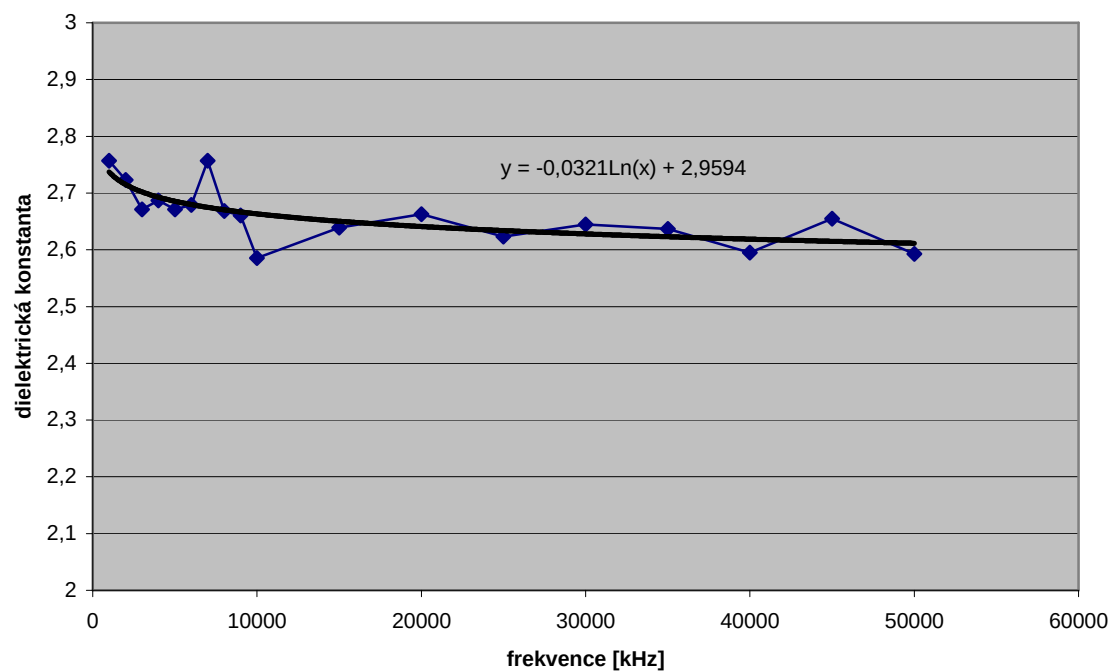
Závislost dielektrické konstanty na frekvenci- lisovaný plast



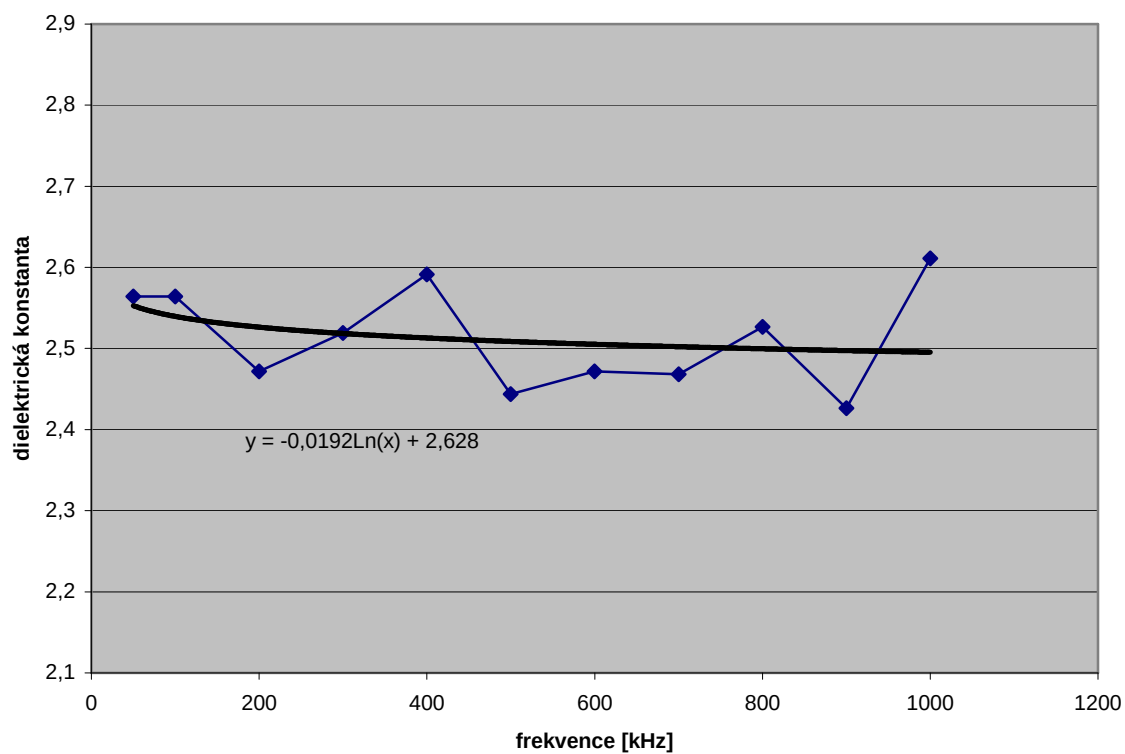
Závislost dielektrické konstanty na frekvenci - plexisklo



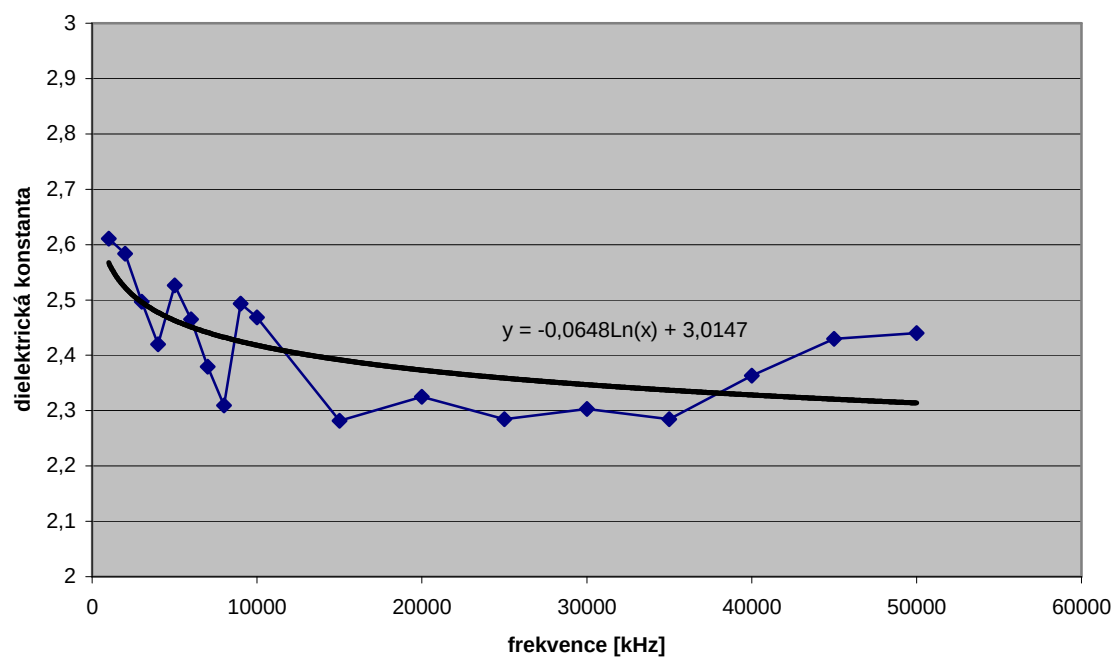
Závislost dielektrické konstanty na frekvenci - plexisklo



Závislost dielektrické konstanty na frekvenci - epoxidová pryskyřice



Závislost dielektrické konstanty na frekvenci - epoxidová pryskyřice



#### 4) Kompozitní dielektrika

Při měření vlastností kompozitních dielektrik jsem použil směs bezbarvého laku a práškového kovového materiálu. Vzorky jsem vytvořil z práškové směsi chromu, zinku a pentakarbonylového železa. Jednotlivé vzorky jsem dále vizuálně zkoumal pod mikroskopem a pomocí komparátoru. Následně jsem měřil frekvenční závislost všech vzorků. Nejlepší vlastnosti během měření vykazoval vzorek směsi chromu (označil jsem jej jako vzorek 1), a proto jsem vytvořil dodatečně vzorek větší tloušťky (vzorek 2). Vzorky vykazovaly vyšší hodnotu dielektrické konstanty těsně po zatuhnutí laku a tato hodnota se v další dny zmenšovala. Z toho jsem usoudil, že bezbarvý lak není úplně zatuhlý a dále se vypařuje. Tato skutečnost způsobila vysokou hodnotu dielektrické konstanty právě vyrobeného vzorku a její postupné snižování. Poslední vzorek směsi chromu jsem proto průběžně vážil a sledoval snižování hmotnosti vypařováním laku v na první pohled tuhém vzorku.

| stáří vzorku [den] | hmotnost [g] |
|--------------------|--------------|
| 2                  | 9,17         |
| 3                  | 9,14         |
| 6                  | 9,12         |
| 7                  | 9,11         |

Po sedmi dnech již vzorek neměnil svoji hmotnost. Bezbarvý lak dostatečně zatuhnul a přestal se vypařovat.

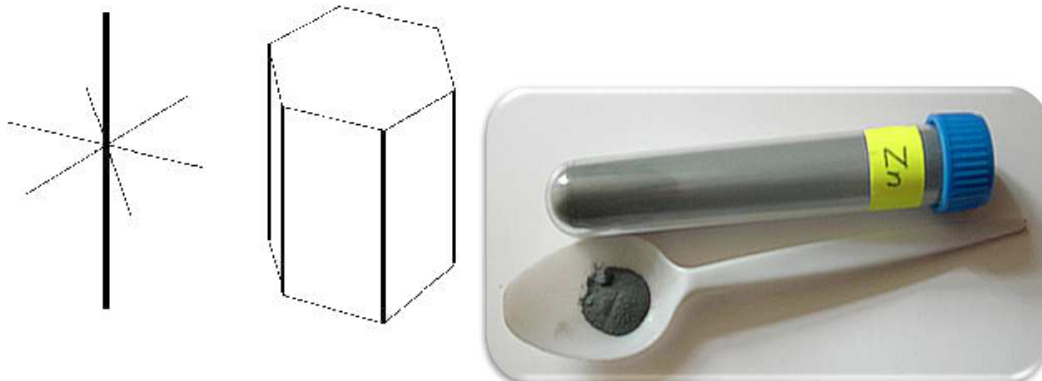
Bezbarvý lak jsem použil Celomat C1038. Jedná se o lak nitrocelulózový a využívá se jako matný lak na dřevo. Hmotnost vzorku jsem měřil pomocí vah Scaltec SAS 50.

#### **Výroba vzorku:**

Před výrobou vzorků jsem se obával vzniku nehomogenit, a proto jsem směs práškového kovu a bezbarvého laku vytvořil v kádince mimo vlastní formu. Celou směs jsem důkladně promíchal a následně nalil do formy, která byla tvořena válcem z tenkého plechu. Před nalitím směsi jsem formu potřel silikonovým olejem, který usnadnil následné vyjmutí zaschlého vzorku. Formu s vzorkem jsem umístil do vodorovné polohy a nechal zatuhnout po dobu několika dní. Poněkud jsem podcenil intenzitu vypařování nitrocelulózového laku, a tak vzorky pentakarbonylu železa a zinku nedosahují velké tloušťky. To by však nemělo mít vliv na měření dielektrické konstanty.

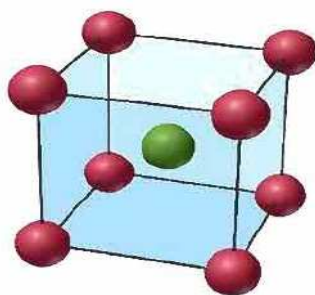
### Vlastnosti použitých materiálů:

| Zinek        |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| hustota      | $7,14\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ |
| teplota tání | $419,53^{\circ}\text{C}$            |
| teplota varu | $907^{\circ}\text{C}$               |
| tvrdost      | 2,5                                 |



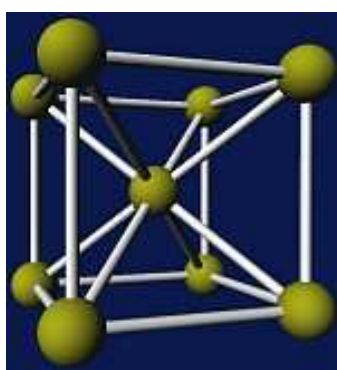
Zinek je za normálních podmínek modrobílý kovový materiál. Mřížka zinku krystalizuje v hexagonálním těsném uspořádání. Zinek má výbornou tepelnou a elektrickou vodivost. Použití můžeme vysledovat až do starověku, kdy tavením mědi se zinkovou rudou vznikala mosaz. Dnes se zinek využívá především jako antikorozní ochranný materiál pro železo a jeho slitiny. Pozinkovaný železný plech je velice rozšířený ve stavebnictví. V menší míře našel zinek uplatnění i v klenotnictví, automobilovém průmyslu. Mnoho sloučenin zinku se využívá jako nátěrové barvy. Za druhé světové války se ze zinku razily mince.

| Chrom        |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| hustota      | $7,15\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ |
| teplota tání | $1857^{\circ}\text{C}$              |
| teplota varu | $2672^{\circ}\text{C}$              |
| tvrdost      | 8,5                                 |



Chrom je bílý, lesklý a velmi tvrdý kov. Jedná se o nejtvrďší elementární kov s vysokou chemickou odolností a nízkou reaktivitou. Mřížka tohoto kovu krystalizuje v kubickém prostorově centrovaném uspořádání. S chromem se nejčastěji setkáme v metalurgickém průmyslu, kde se využívá při výrobě vysoce kvalitních ocelí (rychloměrná ocel – obsah chromu až 18%). Kvalitní oceli se pak využívají k výrobě geologických vrtných nástrojů, frézovacích nástrojů pro opracování dřeva a v řadě obdobných aplikací. Rovněž se využívá jeho chemická odolnost při výrobě předmětů, u kterých je žádoucí nezkorodovaný povrch. Takové předměty jsou využívány v lékařství. Lesku chromu se využívá v automobilovém průmyslu, kde se použití tohoto kovu soustředilo na luxusní estetické doplňky.

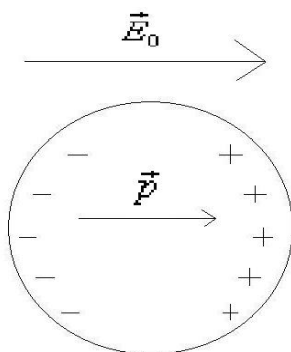
| <b>Pentakarbonylové železo</b> |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| hustota                        | $7,86\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ |
| teplota tání                   | $1538^{\circ}\text{C}$              |
| teplota varu                   | $2861^{\circ}\text{C}$              |



Pentakarbonylové železo se vyrábí termálním rozkladem pentakarbonylu železa. Takto vyrobené železo dosahuje vysoké čistoty. Železo patří mezi významné prvky. Jedná se o feromagnetický kov hojně využívaný v průmyslu. Důležitá je i role železa v organismu – podílí se na přenosu kyslíku k buňkám.

### Teoretické předpoklady:

Práškový kov si můžeme představit jako látku složenou z velkého množství malých kuliček. Každá tato kulička představuje zrnko práškového kovu a má nezanedbatelný dipólový moment  $\vec{p}$ . Ten je způsoben vnitřním elektrostatickým polem  $\vec{E}_0$ .

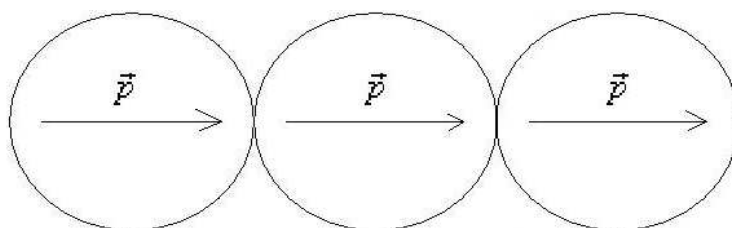


Dipólový moment je dán vztahem

$$\vec{p} = 4\pi\epsilon_0 R^3 \vec{E}_0, \quad (47 - IV)$$

kde  $R$  je poloměr zrna.

Předpokládejme nyní rovnoměrné rozmístění jednotlivých zrn.



Pak celkový dipólový moment bude roven

$$\vec{P} = N \cdot \vec{p} = 4\pi\epsilon_0 R^3 \vec{E}_0 \cdot N, \quad (48 - IV)$$

kde  $N$  je celkový počet částic v daném objemu. Dipólový moment přepočtený na jednotku objemu je veličina shodná s vektorem polarizace. Výraz upravíme

$$\vec{P} = \epsilon_0 \cdot (\epsilon_r - 1) \cdot \vec{E} = 4\pi\epsilon_0 R^3 \vec{E}_0 \cdot N, \quad (49 - IV)$$

kde  $\vec{E}$  je vnější elektrostatické pole.

Celkový počet částic v daném objemu závisí na poloměru vztahem

$$N = \left( \frac{1}{2R} \right)^3 \quad (50 - IV)$$

a po dosazení do vztahu pro polarizaci dostáváme

$$\epsilon_0 (\epsilon_r - 1) \vec{E} = 4\pi\epsilon_0 R^3 \vec{E}_0 \cdot \left( \frac{1}{2R} \right)^3. \quad (51 - IV)$$

Výraz zkrátíme a získáme vztah

$$\varepsilon_r = 1 + \frac{4\pi}{8} = 1 + \frac{\pi}{2} \quad . \quad (52 - IV)$$

Tento vztah vyjadřuje, že dielektrikum tvořené izolovanými kovovými zrny dosahuje pouze relativně malé hodnoty dielektrické konstanty. Odvození však situaci idealizuje zjednodušením zrn, kdy se předpokládá kulový tvar zrn a jejich velice malé rozměry. K těmto předpokladům se nejvíce přiblížily vzorky zinku a pentakarbonylu železa. Zrna těchto vzorků pod mikroskopem opravdu měla tvar koule a dosahovala rozměru okolo 1 μm. Vzorek chromu tvořila zrna větších rozměrů navíc zcela nepravidelného tvaru. Tato skutečnost pravděpodobně způsobila výrazný nárůst dielektrické konstanty. V odvození se pak nemůže zanedbat působení vnitřního elektrostatického pole.

### **Orientační měření:**

V průběhu zkoumání vzorků kompozitních dielektrik jsem orientačně měřil hodnotu dielektrické konstanty pomocí kapacitního můstku a přípravku pro měření dielektrik. Měření jsem prováděl při malých frekvencích (120 Hz a 1 kHz). Vzorky vykazovaly pouze malou změnu dielektrické konstanty v závislosti na použité frekvenci. Výjimkou byl vzorek pentakarbonylu železa, u kterého došlo při zvýšení frekvence k výraznějšímu snížení dielektrické konstanty. Domnívám se, že u ostatních vzorků je průběh závislosti dielektrické konstanty na frekvenci téměř lineární a hodnota dielektrické konstanty zůstává téměř konstantní. Průběh frekvenční závislosti u pentakarbonylu železa bude odlišný. Jako kapacitní můstek jsem použil Univerzální LCR – metr ELC – 131D. Přípravek pro měření dielektrik patří k příslušenství Q – metru Tesla BM – 311 G.

| Orientační měření dielektrické konstanty |           |                                                |                                                  |                           |                                    |
|------------------------------------------|-----------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| vzorek                                   | frekvence | kapacita<br>s vloženým<br>dielektrikem<br>[pF] | kapacita bez<br>vloženého<br>dielektrika<br>[pF] | dielektrická<br>konstanta | poznámka                           |
| zinek                                    | 120 Hz    | 140                                            | 68                                               | 2,06                      |                                    |
|                                          | 1 kHz     | 140,3                                          | 67,8                                             | 2,07                      |                                    |
| chrom<br>vzorek 1                        | 120 Hz    | 277                                            | 35                                               | 7,91                      | definitivně<br>vytvrzený<br>vzorek |



|                         |        |       |      |       |                                    |
|-------------------------|--------|-------|------|-------|------------------------------------|
|                         | 1 kHz  | 277   | 35,3 | 7,85  | definitivně<br>vytvrzený<br>vzorek |
|                         | 1 kHz  | 653,5 | 34,2 | 19,12 | těsně po<br>zatuhnutí              |
| pentakarbonyl<br>železa | 120 Hz | 204   | 36   | 5,67  |                                    |
|                         | 1 kHz  | 171,5 | 34,9 | 4,91  |                                    |
| chrom<br>vzorek 2       | 120 Hz | 74    | 22   | 3,36  |                                    |
|                         | 1 kHz  | 72,3  | 22,7 | 3,19  |                                    |

### Vizuální pozorování:

Při výrobě kompozitních dielektrik jsem používal práškových kovů. Rozhodl jsem se, že tyto kovy podrobím vizuálnímu pozorování. Jednotlivé práškové materiály jsem nejdříve pozoroval pomocí komparátoru Comparex Meopta 66 710. Tento komparátor má vestavěné měřítko 0,1 mm a pomocí tohoto přístroje jsem určil střední velikost zrn práškového vzorku. Pro detailnější pozorování zrn jsem použil mikroskop Meopta 124 805, kterým jsem zkoumal povrch, barvu a lesk zrn. Případný matný povrch by naznačoval přítomnost oxidů, které byly v mém měření nežádoucí. Zvětšení mikroskopu je dáno vztahem  $Z = \gamma\gamma_0$ , kde  $\gamma$  je zvětšení objektivu a  $\gamma_0$  je zvětšení okuláru. U použitého mikroskopu byl využit objektiv  $\gamma = 45$  a okulár  $\gamma_0 = 7$ . Zvětšení mikroskopu je tedy rovno  $Z = 315$ .

#### **Materiál:** chrom

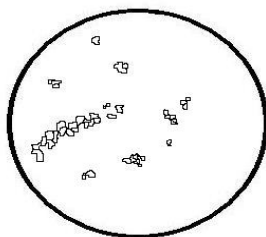
Střední velikost zrn se pohybovala okolo 0,3 mm. Zrna nevykazovala tendenci k žádnému symetrickému tvaru. Barva zrn byla šedá, lesk kovový (velmi výrazný). Práškový chrom neobsahoval žádné oxidy, případně obsahoval oxidy pouze ve velmi malém množství.



#### **Materiál:** zinek

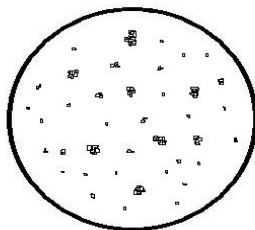
Střední velikost zrn se pohybovala okolo 0,01 – 0,001 mm. Zaznamenal jsem tendenci ke kulovému tvaru. Barva zrn šedá až černá, lesk jsem pozoroval kovový (pouze v některých

místech). Pod mikroskopem jsou na okrajích zrn patrné jemné štětky a zrna tvoří zřejmé řetězce.



**Materiál:** pentakarbonyl železa

Střední velikost zrn byla srovnatelná se zinkem. Opět jsem zaznamenal tendenci ke kulovému tvaru. Barvu jsem pozoroval šedou, lesk kovový (opět pouze v některých místech). Při pozorování mikroskopem se tendence ke kulovému tvaru jevila jako velice výrazná. Materiál často tvořil shluky, které byly výrazně větší než velikost samotných zrn.



Na závěr jsem pozoroval pomocí komparátoru samotné vzorky. U chromu (vzorek 1) jsem zaznamenal zrnka kovu obalená bezbarvým lakem. Mezery mezi zrny byly zcela nezatelné, vyplněné lakem. U vzorku zinku jsem nerozpoznal zrna. Místy se vzorek kovově leskl a na povrchu byly zřejmé bublinky. Vzorek pentakarbonylu železa byl velice podobný zinkovému vzorku. Odlišný byl pouze počet bublinek na povrchu, který byl menší než u zinkového vzorku.

### **Frekvenční závislost dielektrické konstanty:**

Závislost dielektrické konstanty na frekvenci jsem měřil pomocí Tesla Q – metru BM 311 G a přípravku pro měření dielektrik Tesla BP 3110.

**Materiál:** kompozitní dielektrikum (práškový chrom – vzorek 1, bezbarvý lak)

**Podmínky měření:**

|         |           |
|---------|-----------|
| vlhkost | 49%       |
| teplota | 23°C      |
| tlak    | 100,5 kPa |

**Naměřené hodnoty:**

| <b>Frekvenční závislost dielektrické konstanty kompozitního dielektrika (chrom)</b> |                      |            |            |                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|------------|-----------------|
| <b>Tloušťka dielektrika: <math>d_1 = 0,805\text{mm}</math></b>                      |                      |            |            |                 |
| číslo měření                                                                        | rezonanční frekvence | $C_x$ [pF] | $d_2$ [mm] | $\varepsilon_r$ |
| 1                                                                                   | 50 [kHz]             | 375,5      | 0,107      | 5,88            |
| 2                                                                                   | 100 [kHz]            | 160        | 0,102      | 6,05            |
| 3                                                                                   | 200 [kHz]            | 195        | 0,103      | 6,1             |
| 4                                                                                   | 300 [kHz]            | 222        | 0,098      | 6,24            |
| 5                                                                                   | 400 [kHz]            | 49         | 0,103      | 6,34            |
| 6                                                                                   | 500 [kHz]            | 205        | 0,103      | 5,88            |
| 7                                                                                   | 600 [kHz]            | 89         | 0,103      | 7,59            |
| 8                                                                                   | 700 [kHz]            | 23,7       | 0,106      | 6,54            |
| 9                                                                                   | 800 [kHz]            | 227        | 0,104      | 5,67            |
| 10                                                                                  | 900 [kHz]            | 148,5      | 0,107      | 6,34            |
| 11                                                                                  | 1 [MHz]              | 86         | 0,105      | 6,15            |
| 12                                                                                  | 2 [MHz]              | 157,5      | 0,106      | 7,19            |
| 13                                                                                  | 3 [MHz]              | 242        | 0,109      | 9,47            |
| 14                                                                                  | 4 [MHz]              | 66         | 0,11       | 8,66            |
| 15                                                                                  | 5 [MHz]              | 146        | 0,108      | 8,75            |
| 16                                                                                  | 6 [MHz]              | 47         | 0,109      | 10,32           |

|    |          |       |       |      |
|----|----------|-------|-------|------|
| 17 | 7 [MHz]  | 173,5 | 0,113 | 7,52 |
| 18 | 8 [MHz]  | 106,5 | 0,112 | 7,19 |
| 19 | 9 [MHz]  | 51,5  | 0,112 | 6,39 |
| 20 | 10 [MHz] | 253   | 0,115 | 6,19 |
| 21 | 15 [MHz] | 313   | 0,115 | 6,76 |
| 22 | 20 [MHz] | 104   | 0,116 | 5,44 |
| 23 | 25 [MHz] | 144   | 0,115 | 6,71 |
| 24 | 30 [MHz] | 44    | 0,117 | 5,23 |

**Materiál:** kompozitní dielektrikum (práškový zinek, bezbarvý lak)

**Naměřené hodnoty:**

| Frekvenční závislost dielektrické konstanty kompozitního dielektrika (zinek) |                      |            |            |              |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|------------|--------------|
| Tloušťka dielektrika: $d_1 = 0,262\text{mm}$                                 |                      |            |            |              |
| číslo měření                                                                 | rezonanční frekvence | $C_x$ [pF] | $d_2$ [mm] | $\epsilon_r$ |
| 1                                                                            | 500 [kHz]            | 206        | 0,102      | 2,57         |
| 2                                                                            | 600 [kHz]            | 84         | 0,102      | 2,57         |
| 3                                                                            | 700 [kHz]            | 339        | 0,102      | 2,57         |
| 4                                                                            | 800 [kHz]            | 219        | 0,102      | 2,57         |
| 5                                                                            | 900 [kHz]            | 141        | 0,105      | 2,5          |
| 6                                                                            | 1 [MHz]              | 58         | 0,09       | 2,91         |
| 7                                                                            | 2 [MHz]              | 138        | 0,094      | 2,79         |
| 8                                                                            | 3 [MHz]              | 224        | 0,096      | 2,73         |
| 9                                                                            | 4 [MHz]              | 26         | 0,085      | 3,08         |
| 10                                                                           | 5 [MHz]              | 123        | 0,094      | 2,79         |

|    |          |     |       |      |
|----|----------|-----|-------|------|
| 11 | 6 [MHz]  | 36  | 0,099 | 2,65 |
| 12 | 7 [MHz]  | 172 | 0,095 | 2,76 |
| 13 | 8 [MHz]  | 75  | 0,089 | 2,94 |
| 14 | 9 [MHz]  | 298 | 0,08  | 3,28 |
| 15 | 10 [MHz] | 223 | 0,091 | 2,88 |
| 16 | 15 [MHz] | 279 | 0,091 | 2,88 |
| 17 | 20 [MHz] | 68  | 0,092 | 2,85 |
| 18 | 25 [MHz] | 100 | 0,09  | 2,91 |

**Materiál:** kompozitní dielektrikum (práškový pentakarbonyl železa, bezbarvý lak)

**Podmínky měření:**

|         |           |
|---------|-----------|
| vlhkost | 49%       |
| teplota | 23°C      |
| tlak    | 100,5 kPa |

**Naměřené hodnoty:**

| <b>Frekvenční závislost dielektrické konstanty kompozitního dielektrika<br/>(pentakarbonylové železo)</b> |                         |            |            |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------|------------|--------------|
| <b>Tloušťka dielektrika:</b> $d_1 = 0,812\text{mm}$                                                       |                         |            |            |              |
| číslo<br>měření                                                                                           | rezonanční<br>frekvence | $C_x$ [pF] | $d_2$ [mm] | $\epsilon_r$ |
| 1                                                                                                         | 50 [kHz]                | 375,5      | 0,107      | 3,48         |
| 2                                                                                                         | 100 [kHz]               | 160        | 0,102      | 3,65         |
| 3                                                                                                         | 200 [kHz]               | 195        | 0,103      | 3,61         |
| 4                                                                                                         | 300 [kHz]               | 222        | 0,098      | 3,8          |
| 5                                                                                                         | 400 [kHz]               | 49         | 0,103      | 3,61         |
| 6                                                                                                         | 500 [kHz]               | 205        | 0,103      | 3,61         |

|    |           |       |       |      |
|----|-----------|-------|-------|------|
| 7  | 600 [kHz] | 89    | 0,103 | 3,61 |
| 8  | 700 [kHz] | 23,7  | 0,106 | 3,51 |
| 9  | 800 [kHz] | 227   | 0,104 | 3,58 |
| 10 | 900 [kHz] | 148,5 | 0,107 | 3,48 |
| 11 | 1 [MHz]   | 86    | 0,105 | 3,54 |
| 12 | 2 [MHz]   | 157,5 | 0,106 | 3,51 |
| 13 | 3 [MHz]   | 242   | 0,109 | 3,41 |
| 14 | 4 [MHz]   | 66    | 0,11  | 3,38 |
| 15 | 5 [MHz]   | 146   | 0,108 | 3,44 |
| 16 | 6 [MHz]   | 47    | 0,109 | 3,41 |
| 17 | 7 [MHz]   | 173,5 | 0,113 | 3,29 |
| 18 | 8 [MHz]   | 106,5 | 0,112 | 3,32 |
| 19 | 9 [MHz]   | 51,5  | 0,112 | 3,32 |
| 20 | 10 [MHz]  | 253   | 0,115 | 3,23 |
| 21 | 15 [MHz]  | 313   | 0,115 | 3,23 |
| 22 | 20 [MHz]  | 104   | 0,116 | 3,21 |
| 23 | 25 [MHz]  | 144   | 0,115 | 3,23 |
| 24 | 30 [MHz]  | 44    | 0,117 | 3,18 |

**Materiál:** kompozitní dielektrikum (práškový chrom – vzorek 2, bezbarvý lak)

**Podmínky měření:**

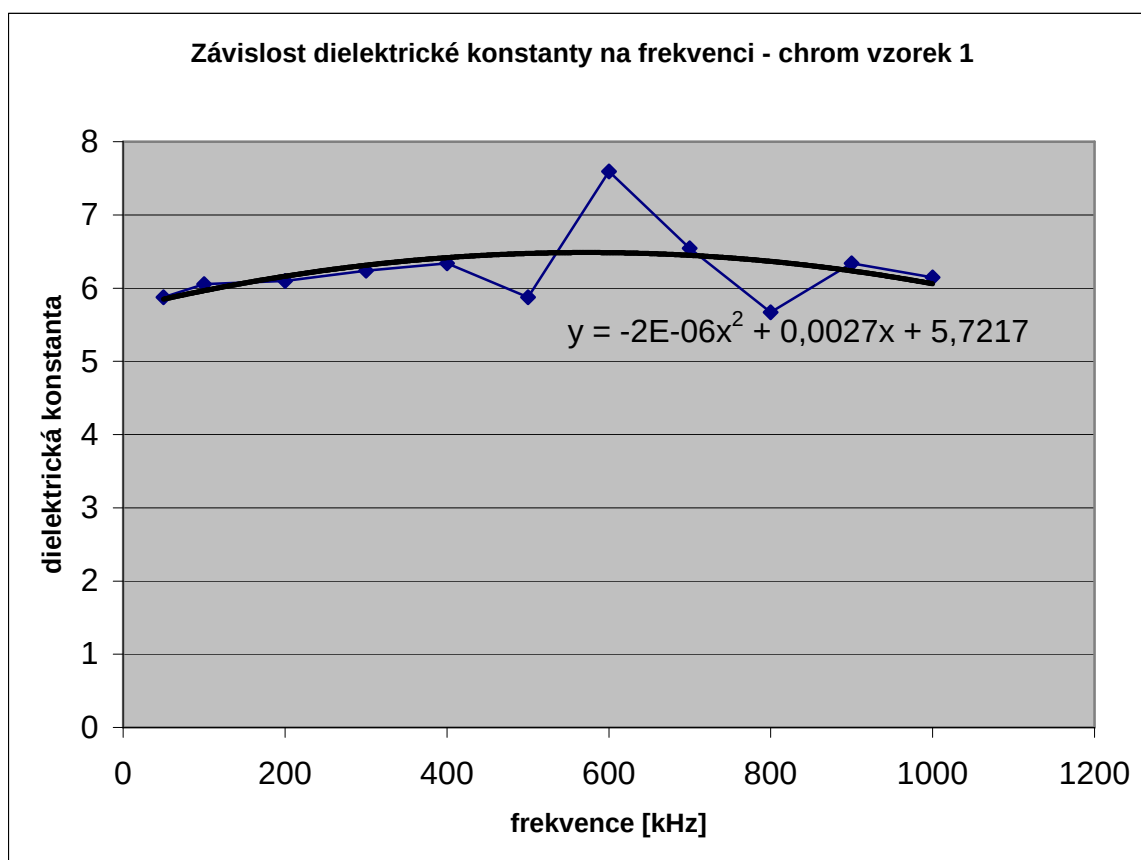
|         |           |
|---------|-----------|
| vlhkost | 50%       |
| teplota | 21°C      |
| tlak    | 100,7 kPa |

**Naměřené hodnoty:**

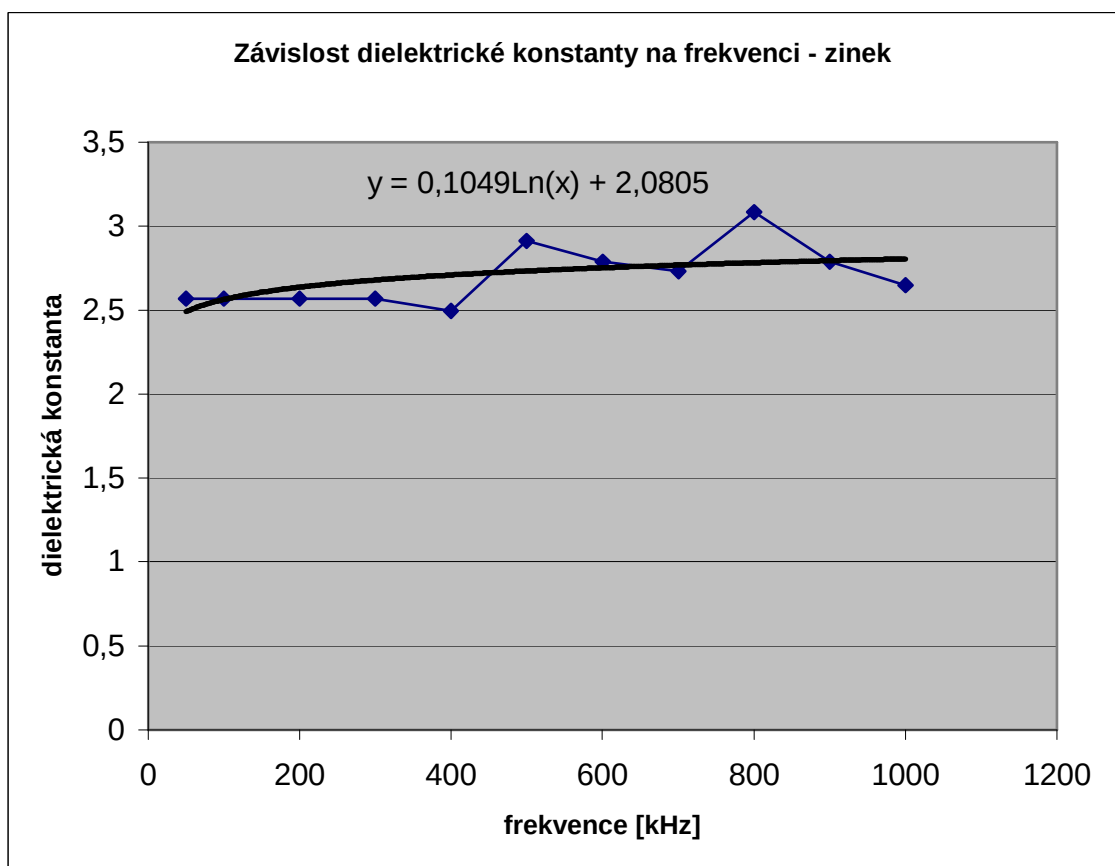
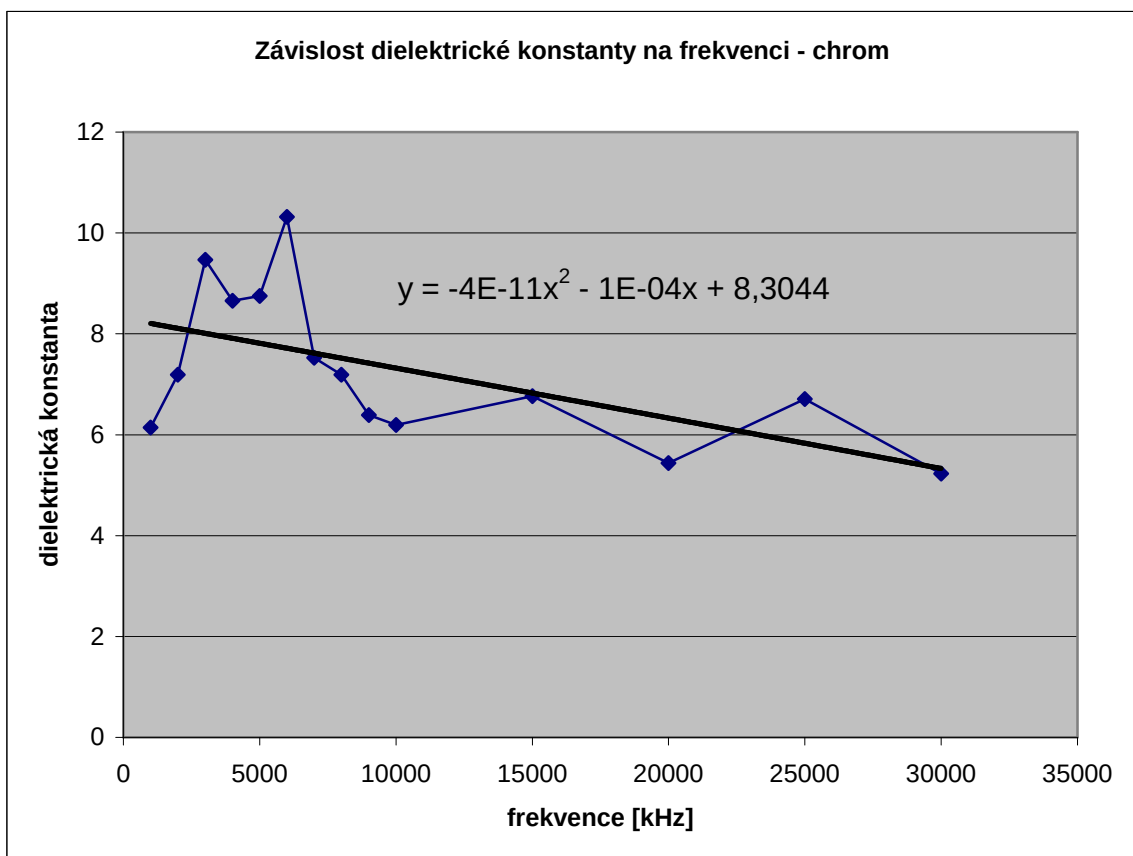
| <b>Frekvenční závislost dielektrické konstanty kompozitního dielektrika (chrom)</b> |                      |            |            |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|------------|--------------|
| <b>Tloušťka dielektrika: <math>d_1 = 2,088\text{mm}</math></b>                      |                      |            |            |              |
| číslo měření                                                                        | rezonanční frekvence | $C_x$ [pF] | $d_2$ [mm] | $\epsilon_r$ |
| 1                                                                                   | 50 [kHz]             | 480,5      | 0,388      | 5,38         |
| 2                                                                                   | 100 [kHz]            | 71         | 0,406      | 5,14         |
| 3                                                                                   | 200 [kHz]            | 111        | 0,383      | 5,45         |
| 4                                                                                   | 300 [kHz]            | 103        | 0,412      | 5,07         |
| 5                                                                                   | 400 [kHz]            | 29         | 0,401      | 5,21         |
| 6                                                                                   | 500 [kHz]            | 82         | 0,411      | 5,08         |
| 7                                                                                   | 600 [kHz]            | 199        | 0,387      | 5,4          |
| 8                                                                                   | 700 [kHz]            | 131,5      | 0,418      | 5            |
| 9                                                                                   | 800 [kHz]            | 83         | 0,386      | 5,41         |
| 10                                                                                  | 900 [kHz]            | 53         | 0,397      | 5,26         |
| 11                                                                                  | 1 [MHz]              | 195        | 0,423      | 4,94         |
| 12                                                                                  | 2 [MHz]              | 88         | 0,386      | 5,41         |
| 13                                                                                  | 3 [MHz]              | 89         | 0,422      | 4,95         |
| 14                                                                                  | 4 [MHz]              | 24         | 0,414      | 5,04         |
| 15                                                                                  | 5 [MHz]              | 91         | 0,422      | 4,95         |
| 16                                                                                  | 6 [MHz]              | 44         | 0,425      | 4,91         |
| 17                                                                                  | 7 [MHz]              | 96         | 0,408      | 5,12         |
| 18                                                                                  | 8 [MHz]              | 211        | 0,398      | 5,25         |
| 19                                                                                  | 9 [MHz]              | 155        | 0,407      | 5,13         |
| 20                                                                                  | 10 [MHz]             | 114        | 0,394      | 5,3          |
| 21                                                                                  | 15 [MHz]             | 128        | 0,451      | 4,63         |

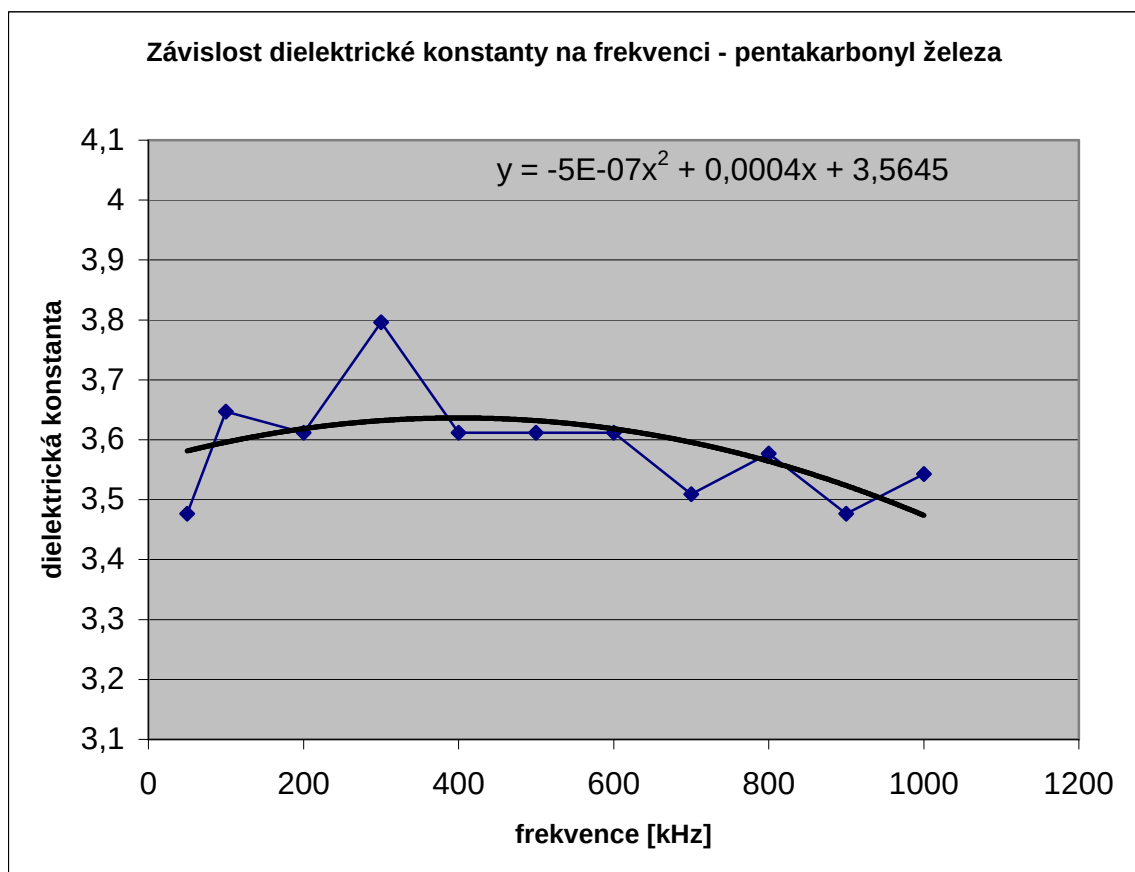
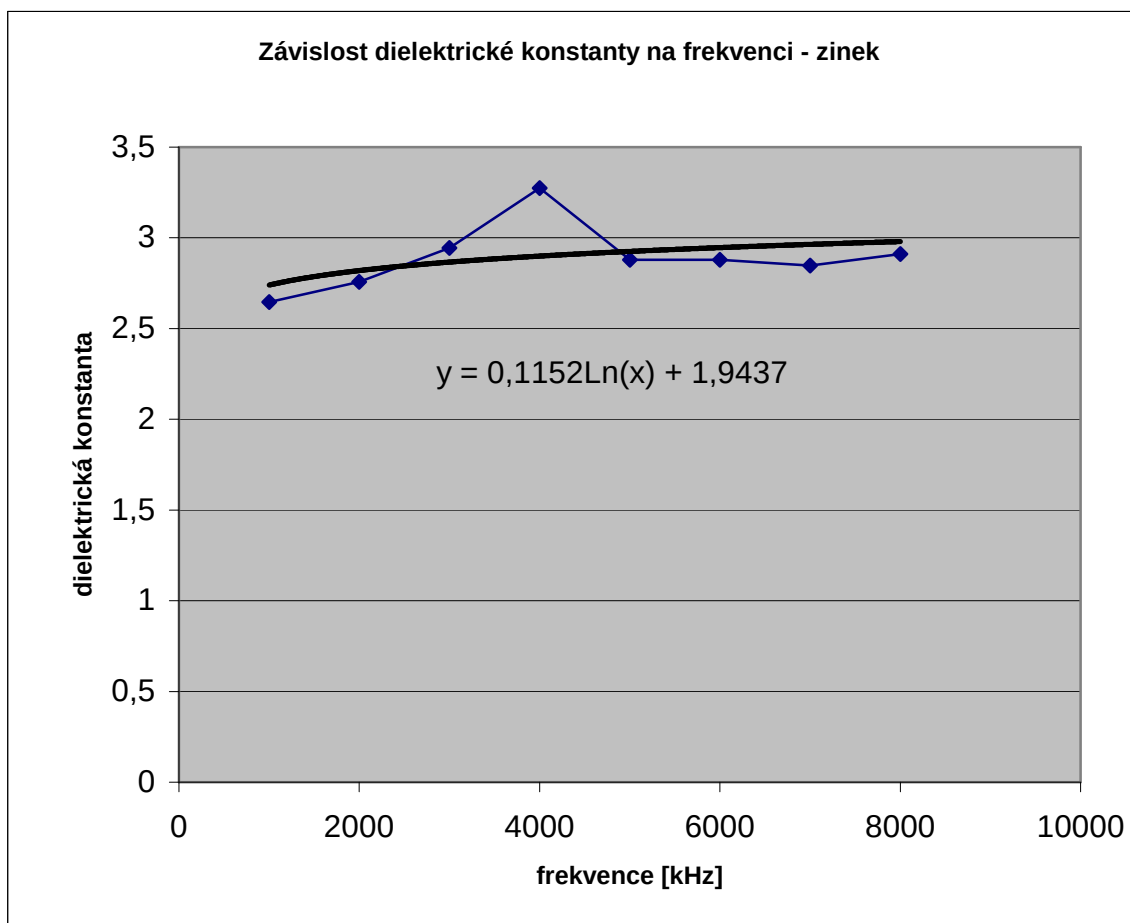
|    |          |     |       |      |
|----|----------|-----|-------|------|
| 22 | 20 [MHz] | 42  | 0,395 | 5,29 |
| 23 | 25 [MHz] | 114 | 0,413 | 5,06 |
| 24 | 30 [MHz] | 66  | 0,462 | 4,52 |
| 25 | 35 [MHz] | 104 | 0,471 | 4,43 |
| 26 | 40 [MHz] | 66  | 0,468 | 4,46 |
| 27 | 45 [MHz] | 38  | 0,455 | 4,59 |

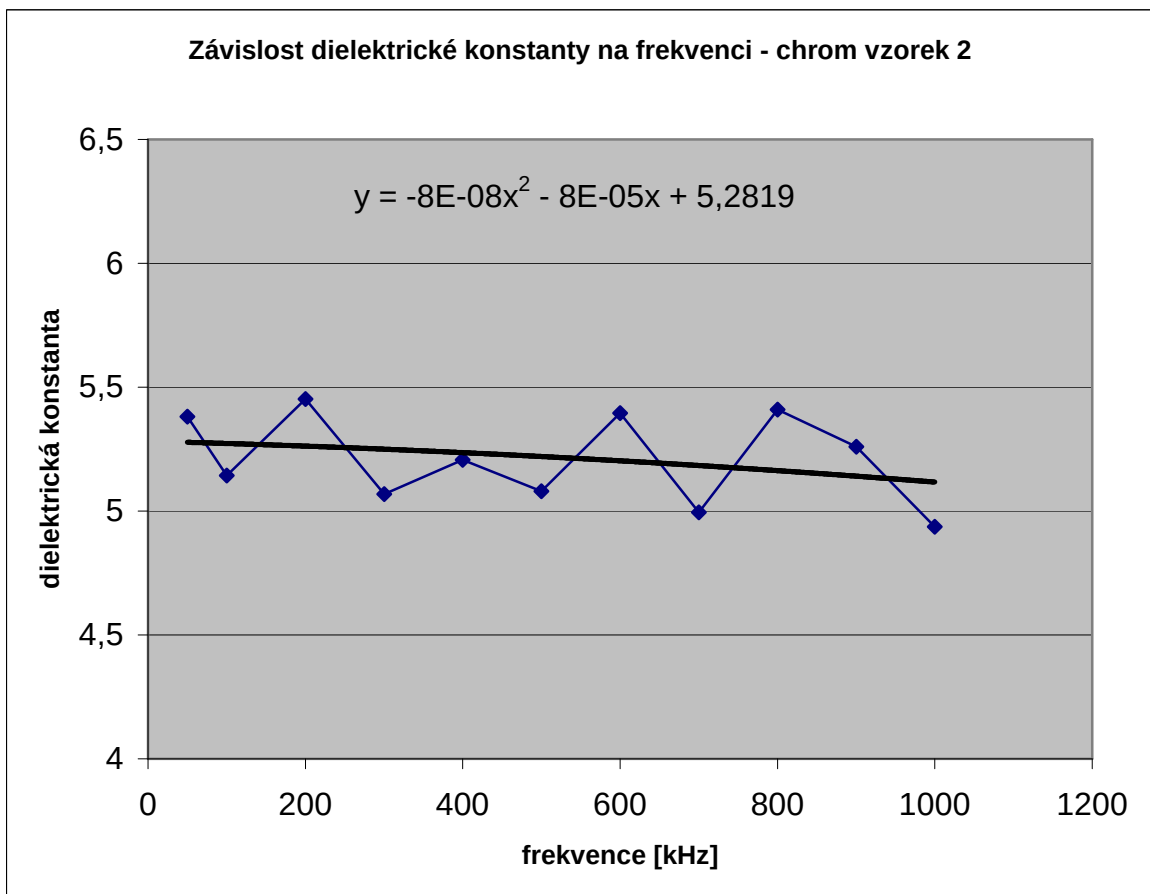
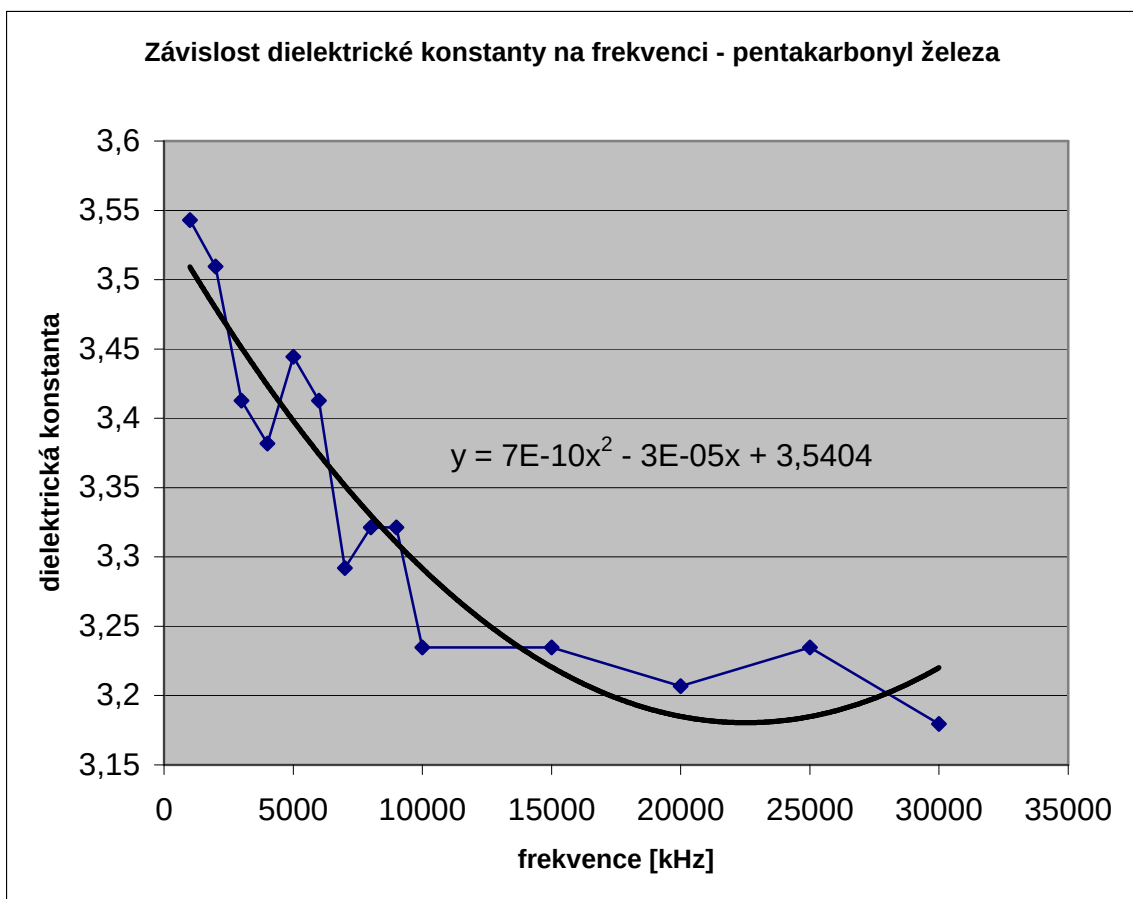
**Grafické zpracování výsledků měření:**

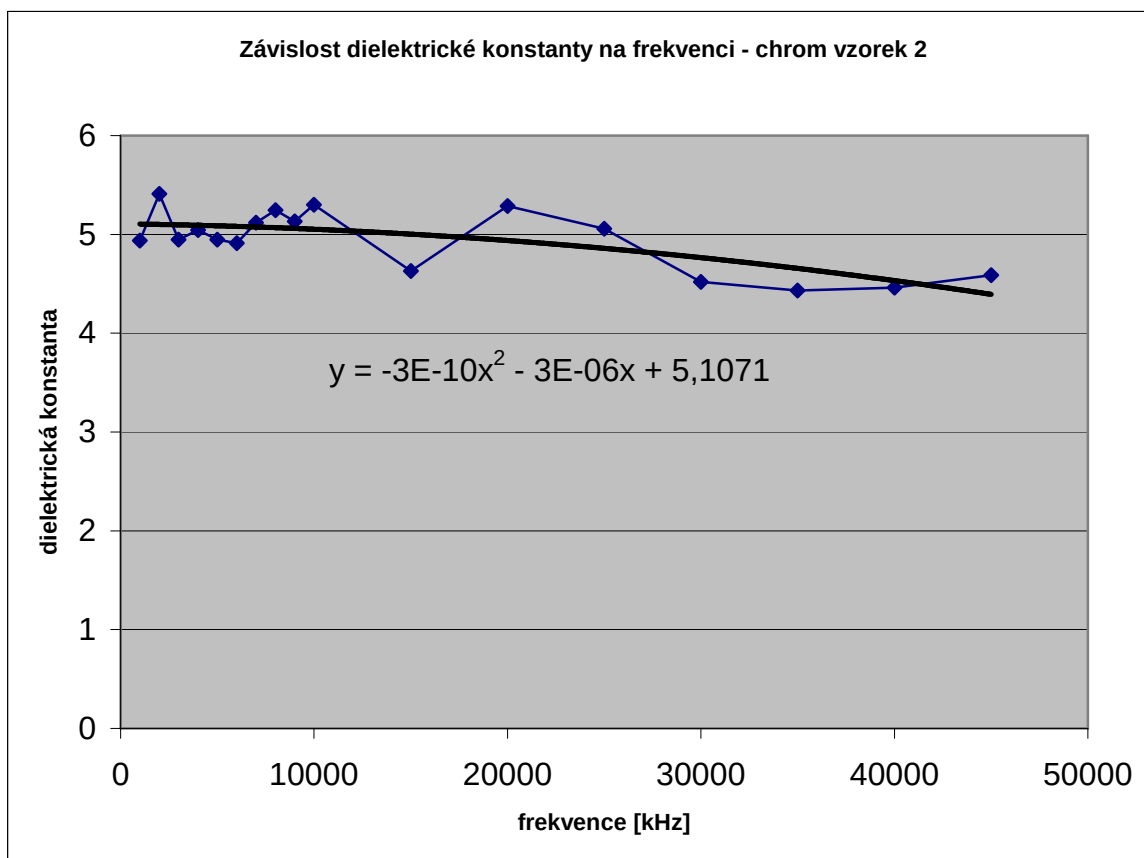




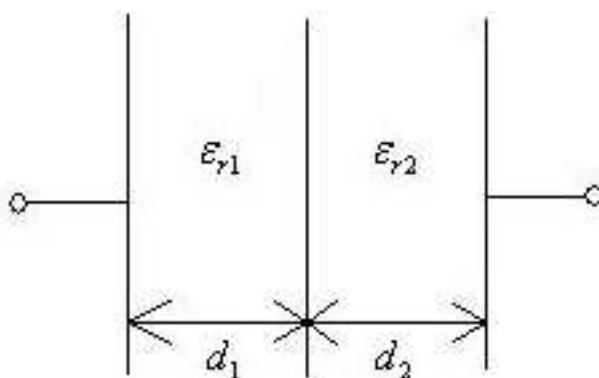








Zajímavým problémem je celková kapacita kondenzátoru, mezi jehož elektrody jsou vložena dvě dielektrika o rozdílných tloušťkách  $d_1$  a  $d_2$  a rozdílných dielektrických konstant  $\epsilon_{r1}$  a  $\epsilon_{r2}$ .



Obr. 11 – III – Kondenzátor vyplněný dvěma odlišnými dielektriky

Celková kapacita kondenzátoru by byla dána vztahem

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}, \quad (53 - IV)$$

jednotlivá dielektrika způsobí, že kondenzátor je výhodné rozdělit na dva samostatné kondenzátory zapojené do série. Dosadíme vztah pro kapacitu deskového kondenzátoru

$$\frac{1}{\varepsilon_0 \bar{\varepsilon}_r \cdot S} = \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon_{r1} \cdot S} + \frac{1}{\varepsilon_0 \varepsilon_{r2} \cdot S}, \quad (54 - IV)$$

kde  $\bar{\varepsilon}_r$  je celková dielektrická konstanta,  $d$  je celková tloušťka dielektrik a  $S$  je plocha desek kondenzátoru. Rovnici upravíme

$$\frac{d}{\bar{\varepsilon}_r} = \frac{d_1}{\varepsilon_{r1}} + \frac{d_2}{\varepsilon_{r2}} = \frac{d_1 \varepsilon_{r2} + d_2 \varepsilon_{r1}}{\varepsilon_{r1} \varepsilon_{r2}} \quad (55 - IV)$$

a pro celkovou dielektrickou konstantu dostáváme vztah

$$\bar{\varepsilon}_r = \frac{\varepsilon_{r1} \varepsilon_{r2}}{d_1 \varepsilon_{r2} + d_2 \varepsilon_{r1}} \cdot d. \quad (56 - IV)$$

Dosadíme  $d_1 = 0,301\text{mm}$ ,  $d_2 = 0,841\text{mm}$ ,  $d = 1,142\text{mm}$ ,  $\varepsilon_{r1} = 2,1$  a  $\varepsilon_{r2} = 7,85$ , celková dielektrická konstanta pak vyjde  $\bar{\varepsilon}_r = 4,56$ .

Tuto hodnotu jsem ověřil měřením. Vzorek zinku a chromu (vzorek 1) jsem položil na sebe a umístil do přípravku pro měření dielektrik. Přípravek jsem připojil ke kapacitnímu mostu a změřil celkovou kapacitu při frekvenci  $f = 1\text{kHz}$ . Poté jsem vzorky vyjmul a změřil kapacitu bez vložených vzorků. Z podílu naměřených kapacit jsem určil celkovou dielektrickou konstantu, která činila  $\bar{\varepsilon}_r = 4,13$ . Tato hodnota je menší než teoretická, důvodem může být, že vzorky na sebe nepřiléhají zcela dokonale a vzniká mezi nimi malá vrstvička vzduchu.

### 4.3 Teplotní závislost dielektrické konstanty

Teplotní závislost dielektrické konstanty jsem měřil u vzorku kompozitního dielektrika složeného z práškového chromu a bezbarvého laku. Dále jsem provedl stejné měření u vzorku bezbarvého laku a rovněž u vzorku porcelánu.

Vzorky jsem upravil do vhodného geometrického tvaru. Rozměry kondenzátoru jsem měřil mikrometrem případně posuvným měřidlem. Na vzorky jsem umístil polepy tvořené alobalem a tím vznikl jednoduchý kondenzátor. Prostor mezi elektrodami byl zcela vyplněn měřeným dielektrikem. Z podílu naměřené kapacity a kapacity vypočítané pro kondenzátor bez dielektrika jsem určil dielektrickou konstantu materiálu.

Upravené vzorky jsem ponořil do kádinky se silikonovým olejem. Kádinku jsem umístil na vařič s integrovanou magnetickou míchačkou a do silikonového oleje jsem ponořil digitální teploměr. Postupně jsem zvyšoval teplotu a ve vhodných intervalech měřil kapacitu ponořeného kondenzátoru pomocí univerzálního LCR – metru.

#### **Pomůcky:**

Univerzální LCR – metr ELC – 131D, magnetická míchačka MM1 Laboratorní přístroje Praha, mikrometr SOMET, posuvné měřidlo SOMET, digitální teploměr Templec

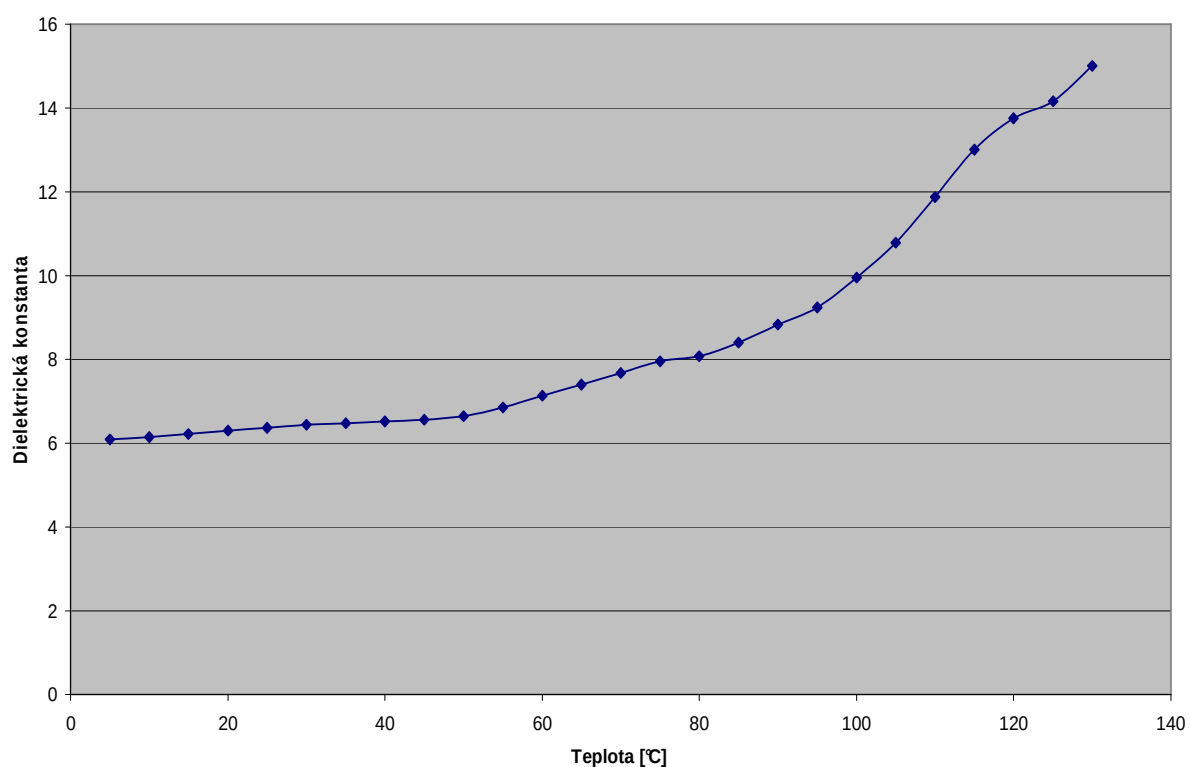
#### **4.3.1 Kompozitní dielektrikum**

Jako kompozitní dielektrikum byl použit vzorek složený z práškového chromu a bezbarvého laku. Stejný vzorek jsem využil pro měření frekvenční závislosti dielektrické konstanty. Vzorek byl válcového tvaru o kruhové podstavě  $r = 3,39$  cm a výšce  $l = 1,28$  mm. Po nalepení elektrod vznikl deskový kondenzátor s kruhovými elektrodami. Vzdálenost elektrod byla rovna  $l$ . Kapacitu kondenzátoru bez dielektrika jsem označil  $C_0$  a kapacitu kondenzátoru s umístěným dielektrikem  $C_x$ . Kapacita byla měřena LCR – metrem při frekvenci  $f = 1$  kHz. Celé měření bylo opakováno pro potvrzení získané závislosti dielektrické konstanty na teplotě.

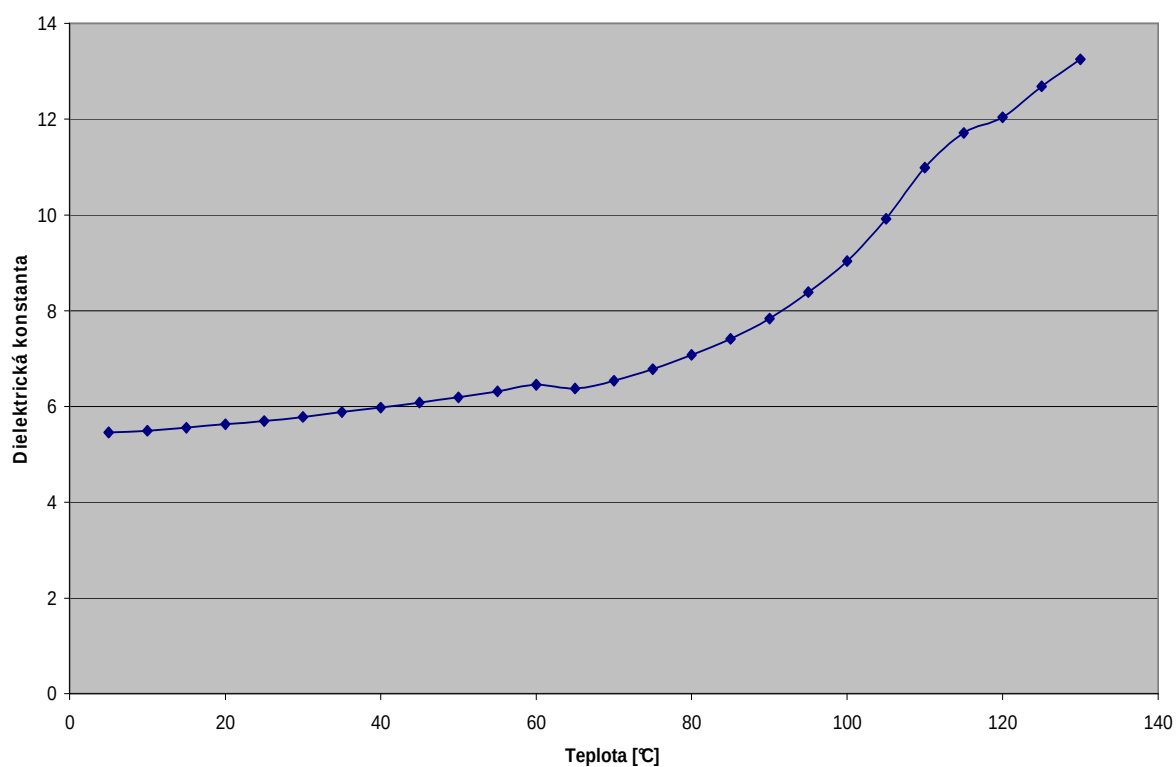
| Teplotní závislost dielektrické konstanty kompozitního dielektrika (chrom) |                     |                        |              |                     |                        |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------|---------------------|------------------------|
| Teplota [°C]                                                               | C <sub>x</sub> [pF] | Dielektrická konstanta | Teplota [°C] | C <sub>x</sub> [pF] | Dielektrická konstanta |
| 5                                                                          | 82,8                | 6,09                   | 5            | 74,2                | 5,46                   |
| 10                                                                         | 83,6                | 6,15                   | 10           | 74,7                | 5,49                   |
| 15                                                                         | 84,6                | 6,22                   | 15           | 75,6                | 5,56                   |
| 20                                                                         | 85,7                | 6,3                    | 20           | 76,6                | 5,63                   |
| 25                                                                         | 86,6                | 6,37                   | 25           | 77,5                | 5,7                    |
| 30                                                                         | 87,6                | 6,44                   | 30           | 78,6                | 5,78                   |
| 35                                                                         | 88,1                | 6,48                   | 35           | 80                  | 5,88                   |
| 40                                                                         | 88,7                | 6,52                   | 40           | 81,3                | 5,98                   |
| 45                                                                         | 89,2                | 6,56                   | 45           | 82,7                | 6,08                   |
| 50                                                                         | 90,4                | 6,65                   | 50           | 84,2                | 6,19                   |
| 55                                                                         | 93,2                | 6,85                   | 55           | 85,9                | 6,32                   |
| 60                                                                         | 97                  | 7,13                   | 60           | 87,8                | 6,46                   |
| 65                                                                         | 100,6               | 7,4                    | 65           | 86,7                | 6,38                   |
| 70                                                                         | 104,4               | 7,68                   | 70           | 88,9                | 6,54                   |
| 75                                                                         | 108,2               | 7,96                   | 75           | 92,2                | 6,78                   |
| 80                                                                         | 109,9               | 8,08                   | 80           | 96,3                | 7,08                   |
| 85                                                                         | 114,3               | 8,4                    | 85           | 100,8               | 7,41                   |
| 90                                                                         | 120,1               | 8,83                   | 90           | 106,6               | 7,84                   |
| 95                                                                         | 125,7               | 9,24                   | 95           | 114,1               | 8,39                   |
| 100                                                                        | 135,4               | 9,96                   | 100          | 122,9               | 9,04                   |
| 105                                                                        | 146,7               | 10,79                  | 105          | 134,9               | 9,92                   |
| 110                                                                        | 161,5               | 11,88                  | 110          | 149,5               | 10,99                  |
| 115                                                                        | 176,9               | 13,01                  | 115          | 159,3               | 11,71                  |
| 120                                                                        | 187,1               | 13,76                  | 120          | 163,8               | 12,04                  |
| 125                                                                        | 192,6               | 14,16                  | 125          | 172,5               | 12,68                  |
| 130                                                                        | 204,1               | 15,01                  | 130          | 180,2               | 13,25                  |

## Grafické zpracování:

Závislost dielektické konstanty kompozitního dielektrika na teplotě



Závislost dielektické konstanty kompozitního dielektrika na teplotě





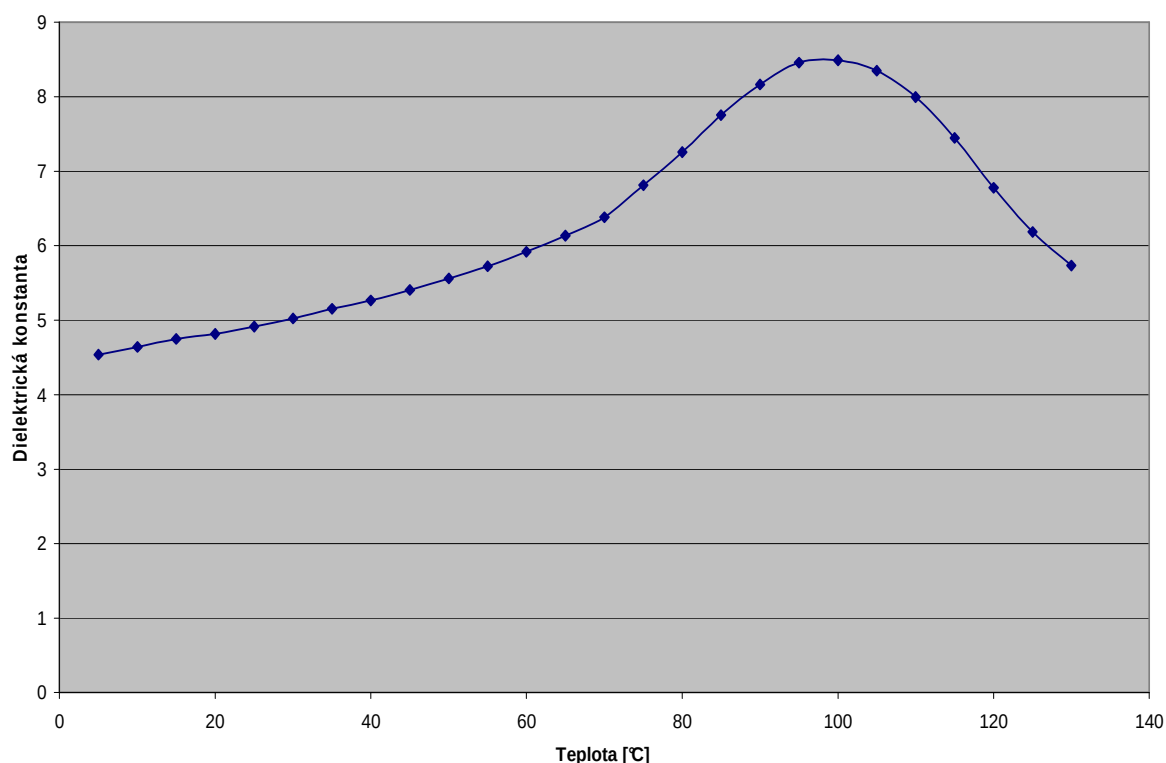
#### 4.3.2 Bezbarvý lak

Důležitou složkou kompozitního dielektrika byl bezbarvý lak. Vyrobil jsem vzorek z bezbarvého laku a následně jsem porovnal teplotní závislost dielektrické konstanty u bezbarvého laku a kompozitu. Postup při výrobě vzorku jsem nezměnil. Vzorek byl opět válcového tvaru, na podstavu jsem nalepil polepy z alobalu. Teplotní závislost dielektrické konstanty jsem měřil ve stejném teplotním intervalu.

| Teplotní závislost dielektrické konstanty kompozitního dielektrika (bezbarvý lak) |                     |                        |              |                     |                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------|---------------------|------------------------|
| Teplota [°C]                                                                      | C <sub>x</sub> [pF] | Dielektrická konstanta | Teplota [°C] | C <sub>x</sub> [pF] | Dielektrická konstanta |
| 5                                                                                 | 113,3               | 4,54                   | 70           | 159,3               | 6,38                   |
| 10                                                                                | 115,8               | 4,64                   | 75           | 170,1               | 6,81                   |
| 15                                                                                | 118,5               | 4,75                   | 80           | 181,1               | 7,26                   |
| 20                                                                                | 120,2               | 4,82                   | 85           | 193,5               | 7,75                   |
| 25                                                                                | 122,7               | 4,92                   | 90           | 203,8               | 8,17                   |
| 30                                                                                | 125,4               | 5,02                   | 95           | 211,1               | 8,46                   |
| 35                                                                                | 128,6               | 5,15                   | 100          | 211,9               | 8,49                   |
| 40                                                                                | 131,4               | 5,26                   | 105          | 208,4               | 8,35                   |
| 45                                                                                | 134,9               | 5,4                    | 110          | 199,6               | 8                      |
| 50                                                                                | 138,8               | 5,56                   | 115          | 185,9               | 7,45                   |
| 55                                                                                | 142,9               | 5,73                   | 120          | 169,2               | 6,78                   |
| 60                                                                                | 147,7               | 5,92                   | 125          | 154,4               | 6,19                   |
| 65                                                                                | 153,1               | 6,13                   | 130          | 143,1               | 5,73                   |

## Grafické zpracování:

**Závislost dielektrické konstanty bezbarvého laku na teplotě**



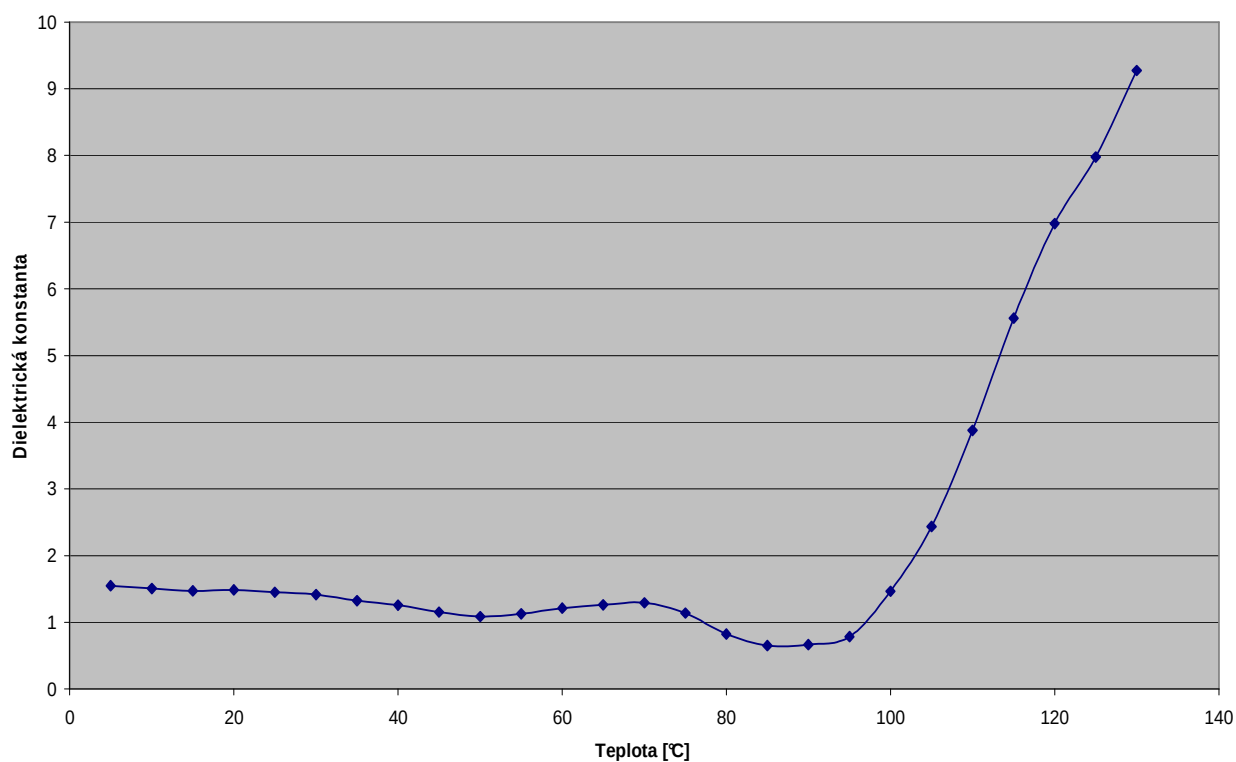
Z jednotlivých grafů je patrné, že došlo ke změně vlastností bezbarvého laku v důsledku přidání práškového chromu. Teplotní závislost dielektrické konstanty má v případě kompozitu odlišný průběh než stejná závislost samotného bezbarvého laku. Hodnoty dielektrické konstanty v jednotlivých závislostech jsem od sebe odečetl a získal jsem tak průběh přírůstku dielektrické konstanty kompozitního dielektrika. Tento přírůstek je způsoben kovovou složkou kompozitu.

| Rozdíl dielektrické konstanty kompozitního dielektrika a bezbarvého laku v závislosti na teplotě |                                       |              |                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------|---------------------------------------|
| Teplota [°C]                                                                                     | Rozdíl hodnot dielektrických konstant | Teplota [°C] | Rozdíl hodnot dielektrických konstant |
| 5                                                                                                | 1,55                                  | 70           | 1,29                                  |
| 10                                                                                               | 1,51                                  | 75           | 1,14                                  |
| 15                                                                                               | 1,47                                  | 80           | 0,83                                  |

|    |      |     |      |
|----|------|-----|------|
| 20 | 1,49 | 85  | 0,65 |
| 25 | 1,45 | 90  | 0,67 |
| 30 | 1,42 | 95  | 0,79 |
| 35 | 1,33 | 100 | 1,47 |
| 40 | 1,26 | 105 | 2,44 |
| 45 | 1,15 | 110 | 3,88 |
| 50 | 1,09 | 115 | 5,56 |
| 55 | 1,13 | 120 | 6,98 |
| 60 | 1,21 | 125 | 7,98 |
| 65 | 1,26 | 130 | 9,27 |

### Grafické zpracování:

Rozdíl dielektrické konstanty kompozitního dielektrika a bezbarvého laku v závislosti na teplotě



Přírůstek je rovnoměrný až do teploty 100°C. Od této teploty vykazuje bezbarvý lak pokles dielektrické konstanty. Naopak kompozitní dielektrikum vykazuje stálý nárůst dielektrické konstanty.

### 4.3.3 Porcelán

V současné době naráží výuka problematiky dielektrik na nedostatek realizovatelných experimentů. Měření teplotní závislosti dielektrické konstanty může rozšířit výuku této problematiky. K průkaznému měření teplotní závislosti dielektrické konstanty jsou vhodné materiály, které vykazují strmý nárůst či pokles dielektrické konstanty. Pro demonstrační účely nelze využít materiály drahé, jedovaté nebo jinak nebezpečné. Některé zdroje uvádějí vysoký vzrůst dielektrické konstanty porcelánu při zvyšování teploty. Například v publikaci Josefa Hassdenteufela *Izolanty* je uvedeno, že při 20°C je dielektrická konstanta rovna 5 až 6, s teplotou roste a při 100°C je rovna 60. Takový vzrůst je pro demonstrační účely velice žádoucí (výrazný nárůst dielektrické konstanty ve vhodném teplotním intervalu). Složení porcelánu se ale velmi liší v závislosti na použitém způsobu výroby. Pro svá měření jsem použil kelímek z laboratorního porcelánu. Tento kelímek válcového tvaru jsem polepil alobalem a vytvořil jsem tak válcový kondenzátor. Kapacita takového kondenzátoru je dána vztahem:

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_r \cdot l}{\ln \frac{b}{a}}, \quad (57 - IV)$$

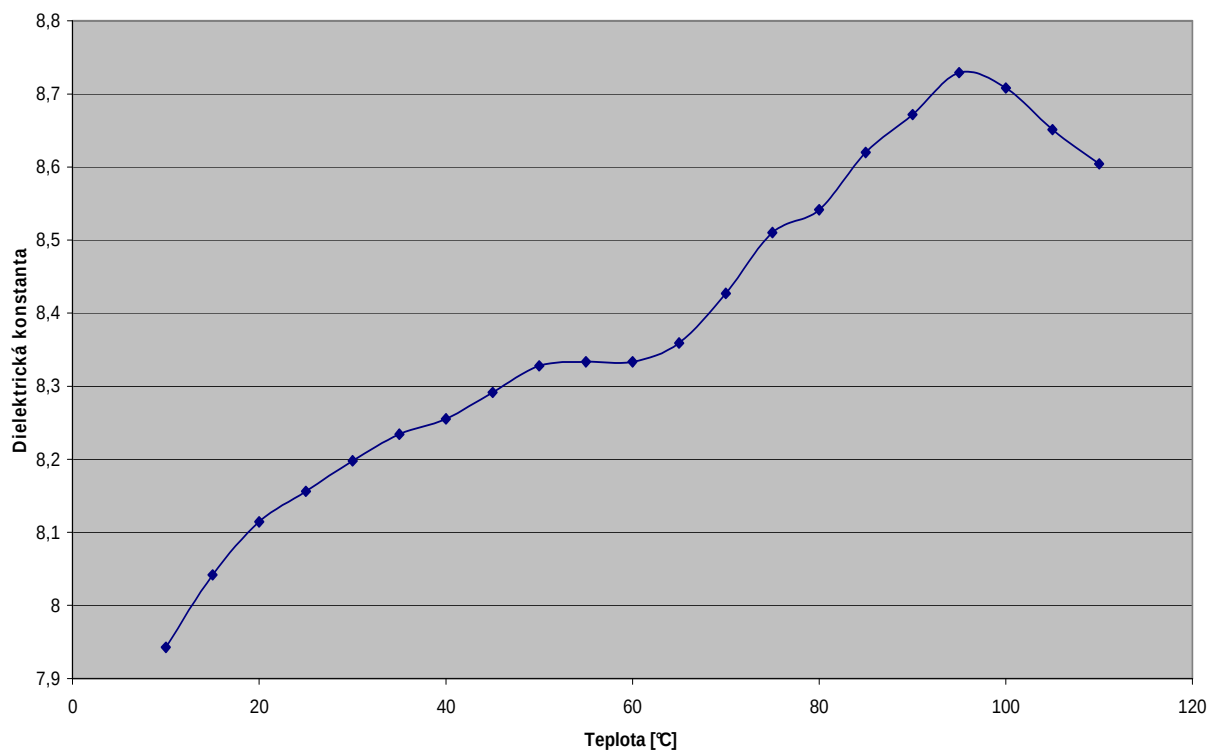
kde  $l$  je výška válce a koeficienty  $a$  a  $b$  určují vnitřní a vnější poloměry elektrod. Po dosazení do vzorce jsem vypočítal kapacitu kondenzátoru bez dielektrika. Tuto kapacitu jsem označil  $C_0 = 19,2$  pF. Kapacitu kondenzátoru s vloženým porcelánovým dielektrikem jsem označil  $C_x$  a z poměru  $C_0$  a  $C_x$  jsem určil dielektrickou konstantu při různých teplotách. Měření jsem zopakoval pro potvrzení získaných výsledků.

| Teplotní závislost dielektrické konstanty porcelánu |            |                        |              |            |                        |
|-----------------------------------------------------|------------|------------------------|--------------|------------|------------------------|
| Teplota [°C]                                        | $C_x$ [pF] | Dielektrická konstanta | Teplota [°C] | $C_x$ [pF] | Dielektrická konstanta |
| 10                                                  | 152,5      | 7,94                   | 10           | 152,9      | 7,96                   |
| 15                                                  | 154,4      | 8,04                   | 15           | 153,4      | 7,99                   |
| 20                                                  | 155,8      | 8,11                   | 20           | 153,8      | 8,01                   |
| 25                                                  | 156,6      | 8,16                   | 25           | 154,5      | 8,05                   |
| 30                                                  | 157,4      | 8,2                    | 30           | 155,1      | 8,08                   |
| 35                                                  | 158,1      | 8,23                   | 35           | 156        | 8,13                   |
| 40                                                  | 158,5      | 8,26                   | 40           | 156,5      | 8,15                   |

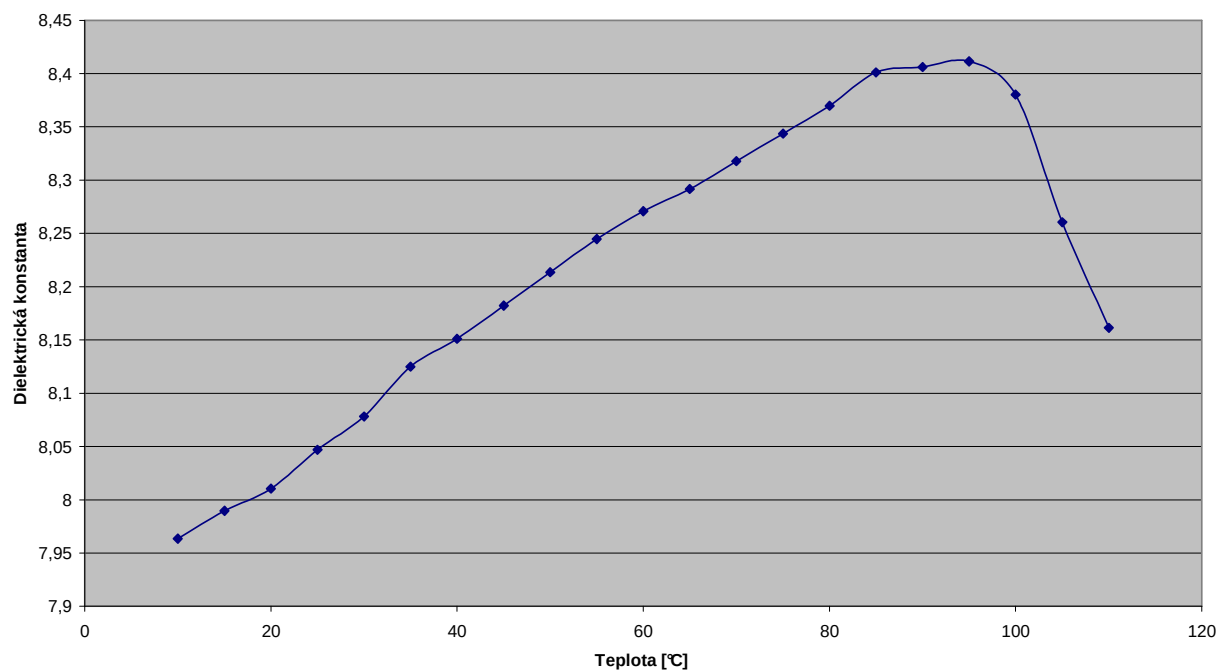
|     |       |      |     |       |      |
|-----|-------|------|-----|-------|------|
| 45  | 159,2 | 8,29 | 45  | 157,1 | 8,18 |
| 50  | 159,9 | 8,33 | 50  | 157,7 | 8,21 |
| 55  | 160   | 8,33 | 55  | 158,3 | 8,24 |
| 60  | 160   | 8,33 | 60  | 158,8 | 8,27 |
| 65  | 160,5 | 8,36 | 65  | 159,2 | 8,29 |
| 70  | 161,8 | 8,43 | 70  | 159,7 | 8,32 |
| 75  | 163,4 | 8,51 | 75  | 160,2 | 8,34 |
| 80  | 164   | 8,54 | 80  | 160,7 | 8,37 |
| 85  | 165,5 | 8,62 | 85  | 161,3 | 8,4  |
| 90  | 166,5 | 8,67 | 90  | 161,4 | 8,41 |
| 95  | 167,6 | 8,73 | 95  | 161,5 | 8,41 |
| 100 | 167,2 | 8,71 | 100 | 160,9 | 8,38 |
| 105 | 166,1 | 8,65 | 105 | 158,6 | 8,26 |
| 110 | 165,2 | 8,6  | 110 | 156,7 | 8,16 |

### Grafické zpracování:

Závislost dielektrické konstanty porcelánu na teplotě



**Závislost dielektrické konstanty porcelánu na teplotě**

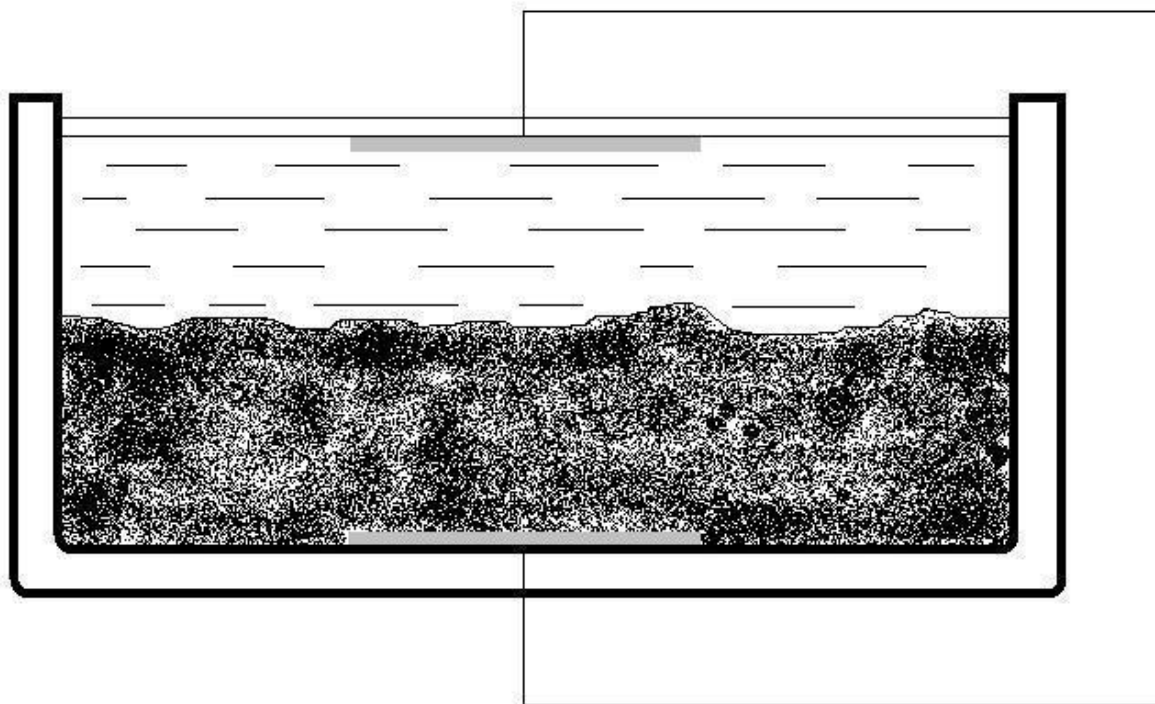


Obě měření neprokázala výrazný nárůst dielektrické konstanty. Z průběhů je patrný malý přírůstek dielektrické konstanty a zlom v okolí teploty 100°C. V okolí této teploty začíná hodnota dielektrické konstanty vykazovat pokles. Nepotvrzení původního předpokladu vysokého nárůstu dielektrické konstanty bude pravděpodobně souviset se složením měřeného porcelánu.

#### 4.4 Termodielektrický jev

Během svých pokusů s elektrety, které prováděl v Rio de Janeiru Joaquim da Costa Ribeiro, objevil v roce 1942 zajímavý, obecně nastávající jev. Jednotlivé prameny udávají různá data objevu. Yves Rocard ve své knize *Elektrizität* uvádí rok 1942, podle Onsagera (Lars Onsager – *The Collected Work*) se tak stalo v roce 1943. Z brazilských zdrojů uvádí například Fond Joaquim da Costa Ribeiro (Fundo Joaquim da Costa Ribeiro) rok 1944.

Tento jev spočívá ve vzniku elektrického proudu v dielektriku při změně fyzikálního stavu (skupenství). Poprvé byl pozorován při tání a tuhnutí karnaubské pryskyřice, která byla rovněž použita při výrobě prvních termoelektretů. Posoudíme například dielektrikum, které právě taje (Obr. 12 – IV)



Obr. 12 – IV – *Schéma termodielektrického jevu*

Na obrázku (Obr. 12 – IV) je v dolní části nádoby karnaubská pryskyřice v pevné fázi a v horní části nádoby ve fázi kapalné. Při dostatečně vysoké rychlosti tavení vzniká větší proud. Při tuhnutí se mění směr proudu. Řádová velikost uvolněného náboje činí přibližně  $10^{-12}$  C na gram u karnaubské pryskyřice. U látek s nepolárními molekulami je efekt výraznější. Pro naftalín je řádová velikost uvolněného náboje rovna  $3,9 \cdot 10^{-12}$  C  $\cdot$  g $^{-1}$ . Yves Rocard v roce 1958 (opět kniha *Elektrizität*) uvádí, že jev nebyl dosud definitivně vysvětlen. Popisuje rovněž, že silnější efekt nastává u látek s dvojnou vazbou.

Někteří badatelé (Sergio Mascarenhas) se domnívají, že termodielektrický efekt může výrazně ovlivňovat tvorbu nabitých částic ledu v atmosféře. Na tomto principu by se následně mohl vysvětlit vznik blesků při atmosférických bouřích. Současní odborníci zabývající se vodou a fázovými přechody vody jsou však spíše skeptičtější. Například Martin Chaplin z London South Bank University na svých internetových stránkách uvádí, že v poslední době se ukazuje malý vliv tohoto efektu na vznik atmosférické elektřiny. Zmíněný Sergio Mascarenhas je žákem samotného Costa Ribeiry. Významně přispěl k výzkumu elektretů a objevil zvláštní a perspektivní skupinu organických látek vykazující vlastnosti elektretů – bioelektrety.



Obr. 13 – IV – Joaquim da Costa Ribeiro



Obr. 14 – IV – Sergio Mascarenhas

V roce 2007, kdy si brazilská vědecká obec připomněla 100 let od narození Costa Ribeiry, uskutečnil Mascarenhas rozhovor pro časopis Pesquisa FAPESP. Z poměrně rozsáhlého článku jsem přeložil pouze části, ve kterých je zmíněn Costa Ribeiro či termodielektrický efekt. Uvádím část rozhovoru Mascarenhase s redaktorem časopisu.

*Začátek vaší kariéry je spojen s termodielektrickým jevem, který je občas nazýván Costa Ribeirův efekt. Jaký je přínos tohoto efektu pro současnou fyziku?*

Termodielektrický jev je spojen se vznikem elektrického proudu během fázového přechodu. Costa Ribeiro objevil tento efekt během tání pevných látek, ale já jsem se domníval, že se jedná o mnohem univerzálnější jev. Během mého výzkumu jsem zaznamenal stejný jev během sublimace některých materiálů. V okamžiku, kdy se moje práce stala známější, jsem začal jev nazývat Costa Riberův efekt na počest tohoto významného vědce.



V pozdějších letech jsem se setkal s Césarem Lattesem, který prohlásil, že tento jev je jediným fyzikálním fenoménem objeveným na brazilské půdě. Velice si cením takového prohlášení od člověka, který udělal zásadní objev částicové fyziky – podílel se na objevení pionu.

*Jak přesně lze charakterizovat termodielektrický efekt?*

Tento efekt spojuje několik fyzikálních disciplín dohromady, protože musíte spojit dohromady principy termodynamiky, fyziky pevných látek a elektřiny a magnetismu. Dám vám konkrétní příklad. Máte mrak, který obsahuje vodu. Voda ztuhne. Pokud během procesu tuhnutí nastane termodielektrický efekt, vzniknou všechny ty nádherné jevy během elektrických bouří. Já jsem hledal stejný jev v biologických substancích, jako jsou DNA či proteiny.

*A našel jste jej?*

Ano, našel a domnívám se, že to byl můj hlavní přínos – vytvoření konceptu bioelektretů. Proč bioelektrety? Během fázového přechodu generuje termodielektrický efekt materiál, který je elektricky nabit. Musíme však rozlišovat mezi termodielektrickým efektem a vlastnostmi elektretů. Tyto dvě věci sice spolu souvisí, ale jsou odlišné. Zde musíme být opatrní.

*Kdo objevil koncept elektretů?*

Japonští fyzikové dlouho před tím, než jsme se o celou záležitost začali zajímat. Costa Ribeiro a Bernardo Gross znovuobjevili tuto zajímavou oblast a já, jejich student, jsem pokračoval v jejich úsilí. V případě termodielektrického efektu máme elektrický efekt založený na fázovém přechodu, podobně jako v případě atmosférické elektřiny, vznik elektrického napětí a proudu v polovodičích, krystalech nebo při sublimaci. Rovněž u elektretů, díky kterým byl vlastně termodielektrický efekt objeven. Costa Ribeiro se velice zajímal o materiály, které zůstávají nabité po ztuhnutí z kapalné fáze. Jak jsem řekl, elektrety byly objeveny Japonci, kteří použili karnaubskou pryskyřici a jejich tým použil tohoto materiálu k výrobě mikrofونů.

*Rozhovor proběhl v červenci 2007*

Objev Costa Ribeiry potvrdili Workman a Reynolds, kteří použili odlišné fáze jedné látky a zjistili, že vzniklé napětí je závislé na přítomnosti nečistot. Tyto studie inspirovaly mnoho vědců, protože efekt může být důležitý k vysvětlení vzniku elektrických jevů v atmosféře. První kvantitativní studie tohoto jevu provedli Pinatti a Mascaranhas, kteří pozorovali termodielektrický efekt v systému voda – led při kontrolovaných podmínkách

fázového přechodu u monokrystalů. Vhodný model k pochopení hlavních procesů během termodielektrického jevu vytvořil B. Gross. Novější práce B. Grosse a jiných badatelů v této oblasti se kloní k řešení vzniku termodielektrického efektu na mnohem kvantitativnější bázi. Kromě termodielektrického efektu můžeme v této souvislosti zmínit ještě dva fenomény, spojené s elektrickými vlastnostmi ledu. Prvním je zjištění, že led se chová jako elektret; druhým je popis ledu jako feroelektrika. Možnost polarizovat led pomocí vnějšího elektrického pole a tuto polarizaci uchovat po delší dobu objevilo několik badatelů nezávisle na sobě. Arguelo a Mascarenhas ukázali, že tvorba elektretu u ledu silně závisí na množství fluorovodíku, který do ledu přidávali. Své experimenty vysvětlili na základě postulovaného bipolárního mechanismu. Silný prostorový náboj byl vztažen k pohybovým vlastnostem mřížkových poruch. Využili techniku teplotně stimulovaného proudu k vyšetření uchovávání náboje a polarizace v ledu. Tuto techniku použil jako první B. Gross mnoho let před nimi. Gross však pomocí této techniky vyšetřoval neizotermické změny v elektretech, které dnes nazýváme klasickými elektrety. Tato technika se dále využila ke zkoumání iontových krystalů, polymerů, biopolymerů a jiných biologických materiálů, které se projeví jako elektrety.

Elektrety tvoří zvláštní skupinu dielektrik. Jejich název zavedl čistě spekulativně v roce 1896 O. Heaviside. Předpokládal totiž, že podobně jako existují v přírodě trvalé magnety, musí existovat i jejich elektrostatická analogie, trvale elektricky polarizovaná dielektrika. Z tohoto hlediska bychom mohli dát Heavisidovi zapravdu, neboť skutečně v přírodě existují trvale polarizované pevné látky nazývané pyroelektrety. Jejich trvalá polarizace je však zakryta nábojem, který v normálním stavu kompenzuje povrchové náboje polarizovaných dielektrik. Tento náboj se projevuje teprve zahřátím pyroelektrika, z něhož se uvolní kompenzující náboj. Přesto přisuzujeme objev elektretů Mototaro Eguchiovi, který první připravil elektrety uměle ze směsi karnaubské pryskyřice, kalafuny a včelího vosku. Jeden z prvních elektretů byl připraven ze směsi 45% karnaubské pryskyřice, 45% bílé kalafuny a 10% včelího vosku. Směs těchto základních částí roztavil a nechal zatvrdnout v silném elektrickém poli. Výsledkem byla trvale polarizovaná destička, jejíž povrchové náboje opačného znaménka bylo možné pozorovat po delší dobu a nebylo je možné ztotožnit s povrchovými náboji vzniklými třením. Takto připravené elektrety byly nazvány termoelektrety. Kromě působení tepla a elektrického pole je možné připravit elektrety i dlouhodobým působením silného elektrického pole. Takové elektrety se nazývají elektroelektrety. Jak ukázal bulharský fyzik G. Nadžakov, je možné připravit elektrety i současným působením světla a elektrického pole. Takové elektrety nazýváme fotoelektrety.

Konečně v šedesátých letech minulého století se objevil čtvrtý způsob přípravy elektretů, a to ozářením ionizujícím zářením jako je záření alfa, beta a gama. Těmto elektretům, které vznikají bez vnějšího působení elektrického pole, říkáme pseudoelektrety.

Při objevu termodielektrického jevu i prvních umělých elektretů byla použita karnaubská pryskyřice. Tato pryskyřice se získává z listů palmy *Copernicia prunifera* (podčeleď *Coryphoideae*, skupina *Corypheae*, podskupina *Livistoninae*), která se v přírodě vyskytuje v severovýchodní Brazílii ve spolkových státech Piauí, Ceará a Rio Grande do Norte. Karnaubská pryskyřice (také karnaubský vosk) je označována jako královna mezi vosky a tvoří ochranný povlak listů palmy. Získává se sběrem palmových listů, které se rozdrtí a uvolní pryskyřici. Tato surovina se dále čistí a bělí. Výsledný produkt získává okrovou barvu. Na přelomu 19. a 20. století byla karnaubská pryskyřice oblíbeným materiálem. Například v roce 1890 si nechal patentovat Charles Tainter použití karnaubské pryskyřice namísto směsi parafínu a včelího vosku v cylindrech ve fonografu. V současnosti se využívá této hypoalergenní látky kupříkladu jako povlak zubních nití. Dále se široce využívá jako výborná politura v nábytkářství či jako leštadlo v automobilovém průmyslu. S karnaubskou pryskyřicí se rovněž setkáme v kosmetice a potravinářském průmyslu (E903) či při výrobě léčiv. Je jednou ze složek plastických trhavin (kompozice B složená z RDX a TNT). Pryskyřice je rovněž oblíbeným leštidlem dýmek. K elektrotechnickým účelům se dříve karnaubské pryskyřice využívalo buď jako impregnačního prostředku nebo jako měkčidla. Rozpouštěla se v benzínu a benzenu. Protože se však musela dovážet, nahrazovala se voskem montánním.



Obr. 15 – IV - *Copernicia prunifera*



Obr. 16 – IV – Karnaubská pryskyřice

| Vlastnosti karnaubské pryskyřice    |           |
|-------------------------------------|-----------|
| hustota [kg/m <sup>3</sup> ]        | 990       |
| bod skanutí [°C]                    | 85        |
| navlhavost [%]                      | 0,1 – 0,3 |
| dielektrická konstanta $\epsilon_r$ | 2,3 – 5,6 |

Vosky obecně jsou amorfni látky bez krystalické mřížky a jejich tání a tuhnutí se odehrává v určitém teplotním intervalu. Zde je patrný rozdíl od látek s krystalickou mřížkou, které tají a tuhnou v okamžiku, kdy teplota dosáhne určité, konkrétní hodnoty. V technické praxi se tedy začal užívat takzvaný bod skanutí. Teplotní interval, při kterém tuhne či taje karnaubská pryskyřice je 80 – 86 °C, což je nejvíce ze všech přírodních vosků. Karnaubská pryskyřice je taktéž nejtvrdějším přírodním voskem (některé zdroje uvádějí, že ve své čisté formě je karnaubská pryskyřice tvrdší než beton).

Chemické složení (podle zprávy Organizace pro výživu a zemědělství – specializované agentury Organizace spojených národů) :

- alifatické estery (kyseliny s přímým řetězcem a sudým počtem uhlíkových atomů od C24 do C28 a alkoholy s přímým řetězcem a sudým počtem uhlíkových atomů od C30 do C34)
- alfa-hydroxy estery (hydroxylové kyseliny s přímým řetězcem a sudým počtem uhlíkových atomů od C22 do C28, kyseliny s přímým řetězcem a sudým počtem uhlíkových atomů od C24 do C28, jednosytné alkoholy se sudým počtem uhlíkových atomů od C24 do C34 a dvojsytné alkoholy se sudým počtem uhlíkových atomů od C24 do C34)
- alifatické diestery kyseliny skořicové (p-metoxyskořicová kyselina a dvojsytné alkoholy se sudým počtem uhlíkových atomů od C24 do C34)
- volné kyseliny (kyseliny s přímým řetězcem a sudým počtem uhlíkových atomů od C24 do C28)
- volné alkoholy (alkoholy s přímým řetězcem a sudým počtem uhlíkových atomů od C30 do C34)
- uhlovodíky (uhlovodíky s přímým řetězcem a lichým počtem uhlíkových atomů od C27 do C31)

Teoretické vysvětlení termodielektrického jevu podal Bernardo Gross v roce 1953. Jeho model je použitelný pouze pro dielektrika zkoumaná Costa Ribeirou (parafín, naftalín,

kalafuna, karnaubská pryskyřice,...) a rovněž vysvětluje celý jev vznikající pouze během tání či tuhnutí.

Předpokládejme kontaktní napětí mezi kapalnou a pevnou fází. Z tohoto kontaktního napětí vyplývá vznik elektrické dvojvrstvy na fázovém rozhraní (za statických podmínek). Jestliže se fázové rozhraní začne pohybovat (probíhá tání či tuhnutí), elektrická dvojvrstva musí následovat pohyb fázového rozhraní. Vzhledem k malé vodivosti pevné fáze se nemůže příspěvek náboje pevné fáze k elektrické dvojvrstvě rozptýlit dostatečně rychle, aby udržel rychlost s fázovým rozhraním. Jak fázové rozhraní postupuje, nechává za sebou v pevné fázi jakýsi „ocas“ prostorového náboje, který zvýší kontaktní napětí mezi oblastí hluboko v pevné fázi a kapalnou fází (elektrolytem). Toto zvýšení může být mnohonásobně vyšší než původní kontaktní napětí. Fázové rozhraní se tak chová jako selektivní permeabilní membrána, která umožňuje průchod určitého typu nositelů elektrického náboje snadněji než nositelů náboje typu jiného. Kombinovaná elektromagnetická pole prostorového a povrchového náboje způsobují opačné elektromagnetické pole na fázovém rozhraní, které postupně neutralizuje kontaktní napětí. To způsobí, že se „ocas“ prostorového náboje zmenšuje s postupem fázového rozhraní materiálem, až je dosaženo limitujícího elektromagnetického pole fázového rozhraní. Zlomek náboje elektrické dvojvrstvy, který skutečně zůstane za fázovým rozhraním jako prostorový náboj, závisí na rychlosti postupu fázového rozhraní a na množství náboje, které se rozptýlí přes fázové rozhraní zpětnou difuzí.

Během celého výkladu se musíme oprostít od představy, že v dielektriku nejsou žádné nositele náboje. To platí pouze pro ideální dielektrikum, v každém reálném dielektriku se nějaké volné nosiče náboje vyskytují.

Ve výkladu se operuje s termínem elektrická dvojvrstva. Jedná se o útvar, který je složený ze dvou opačně nabitých vrstev a který se vytváří při styku nabitého povrchu tuhé látky s roztokem elektrolytu. Nabitý povrch tuhé látky tvoří tzv. vnitřní vrstvu, k níž jsou elektrostatickými a adsorpčními silami přitahovány ionty převážně opačného znaménka (protiionty), jejichž náboj neutralizuje náboj povrchu – tzv. vnější vrstva. Pro popis tohoto uspořádání byly vytvořeny různé modely elektrické dvojvrstvy, které jsou formulované na základě analýzy elektrostatických interakcí a tepelného pohybu iontů v elektrické dvojvrstvě. Každý z navržených modelů se přibližuje skutečnosti do určité míry, jejich věrohodnost je posuzována podle toho, jak dalece jsou matematické vztahy a kvalitativní závěry z modelové představy ve shodě s experimentálními fakty.

#### 4.5 Měření termodielektrického jevu

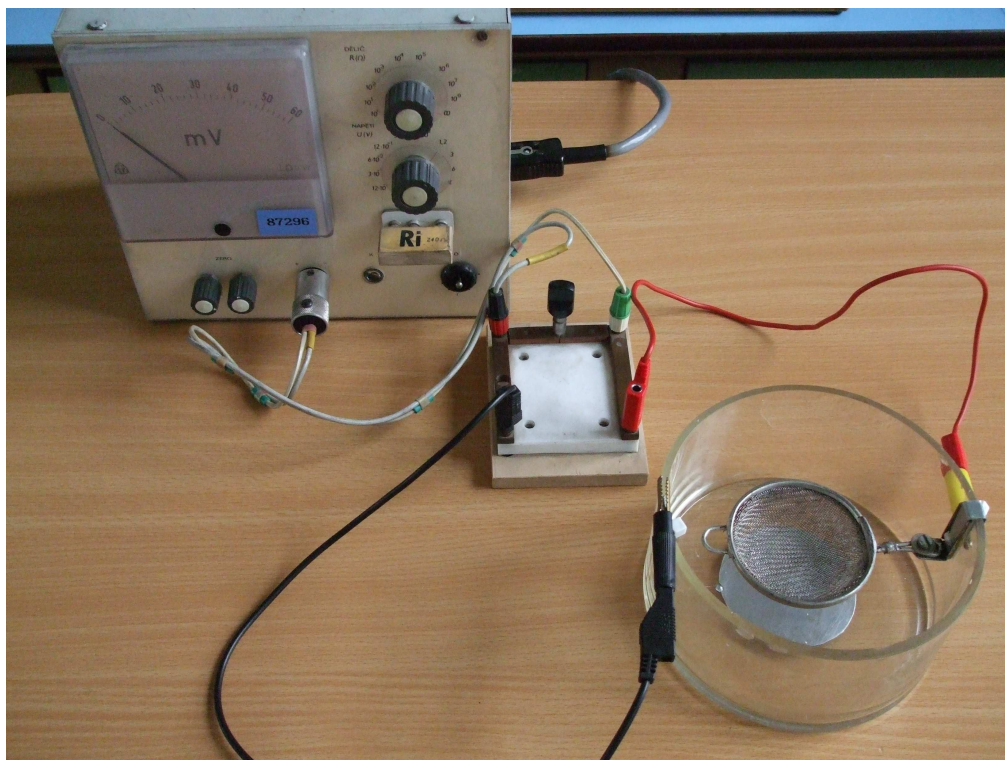
Pro demonstraci termodielektrického jevu jsem využil aparatury, která je zmíněna v práci B. Grosse *Theory of Thermoelectric Effect*. Tento autor navrhuje do vhodné nádoby umístit kapalný vosk a dno této nádoby chladit. Jako dielektrický materiál pro demonstraci jsem zvolil parafín. Nádobu jsem položil na vrstvu ledu, a tím jsem docílil ochlazení spodní kruhové elektrody. V prvních pokusech jsem použil kovovou nádobu, kde jako elektroda fungoval plášť nádoby. Na upevněné distanční zarážky jsem umístil kruhovou elektrodu. Obě elektrody byly tedy odděleny distančními zarážkami malých rozměrů. Nádobu jsem položil na led a následně jsem do nádoby nalil zkapalněný vosk. Kovová nádoba tvořená hliníkovým plechem dosahovala vysoké tepelné vodivosti. Vosk proto nezačal tuhnout pouze u dna, ale postupně tuhnul i v okolí stěn nádoby. To negativně ovlivňovalo průběh sledovaného procesu. Jako vhodnou nádobu jsem tedy v dalších pokusech použil skleněnou misku. Na dno misky jsem nalepil kruhovou elektrodu, vývod jsem umístil na okraj nádoby a zakryl bezbarvým lakem. V předchozích pokusech s kovovou nádobou jsem pozoroval velkou změnu objemu měřeného parafínu při ztuhnutí. Došlo ke zmenšení objemu a často se stalo, že hladina měřeného parafínu nedosahovala až k horní elektrodě. Tuto skutečnost jsem řešil jinou konstrukcí horní elektrody, kterou jsem vyrobil ze sítka na čaj. Sítko je pro materiál propustné, netvoří pevnou bariéru. Tvar sítka je navíc výhodný, protože kopíruje výduť vznikající při ztuhnutí parafínu v nádobě.



Obr. 17 – IV – Nádoba pro měření termodielektrického jevu



Vývody z obou elektrod jsem připojil k citlivému milivoltmetru s vysokým vstupním odporem.



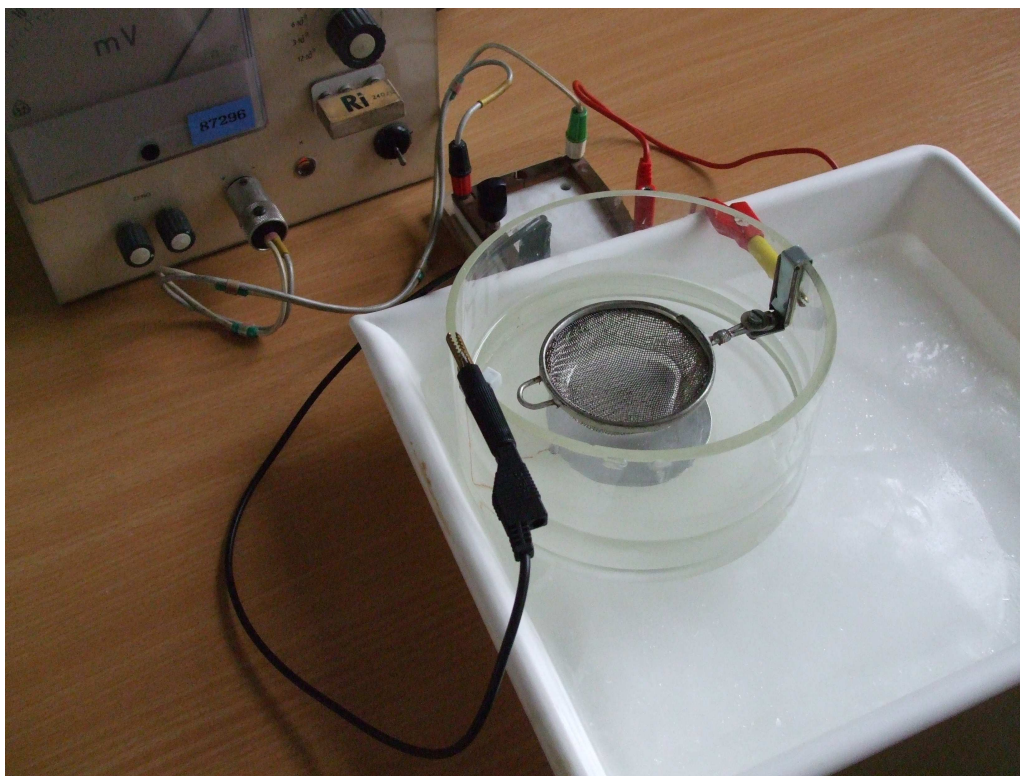
Obr. 18 – IV – Nádoba pro měření termodielektrického jevu připojená k milivoltmetru

Před měřením jsem do vhodné nádoby nalil vodu a nádobu uložil do mrazicího boxu. Příprava ledu je časově náročná, je vhodné led vytvořit jeden či více dnů před vlastním měřením. Těsně před měřením jsem začal zahřívat pevný parafín. Parafín poměrně rychle zkapalní, vhodné množství parafínu závisí na použité nádobě a vzdálenosti elektrod. Ve znázorněných experimentech jsem použil 275 g parafínu. Takové množství bylo dostatečné pro částečné ponoření sítka. Po úplném zkapalnění jsem parafín nalil do nádoby pro měření termodielektrického jevu.



Obr. 19 – IV – Kapalný parafín v nádobě pro měření termodielektrického jevu

Nádoby pro měření termodielektrického jevu jsem položil na vytvořenou vrstvu ledu a sledoval jsem měřené napětí.



Obr. 20 – IV – Aparatura během měření termodielektrického jevu

Těsně po nalití parafínu a umístění nádoby na vrstvu ledu nevykazuje milivoltmetr žádnou výchylku. Až po několika minutách dochází k dramatickému nárůstu napětí. Uvedený postup při přípravě k měření jevu jsem se pokusil změnit. Zkapalněný parafín jsem nalil do nádoby, která již byla položena na vrstvě ledu. Milivoltmetr těsně po nalití parafínu vykazoval značnou výchylku. Pro demonstrační účely a pro přesné proměření závislosti napětí  $U$  na času  $t$  je proto vhodné zachovat výše uvedenou posloupnost.

### Výsledky měření:

Měření termodielektrického jevu jsem několikrát opakoval. Výsledky měření závislosti napětí na času vykazují zřetelnou shodu.

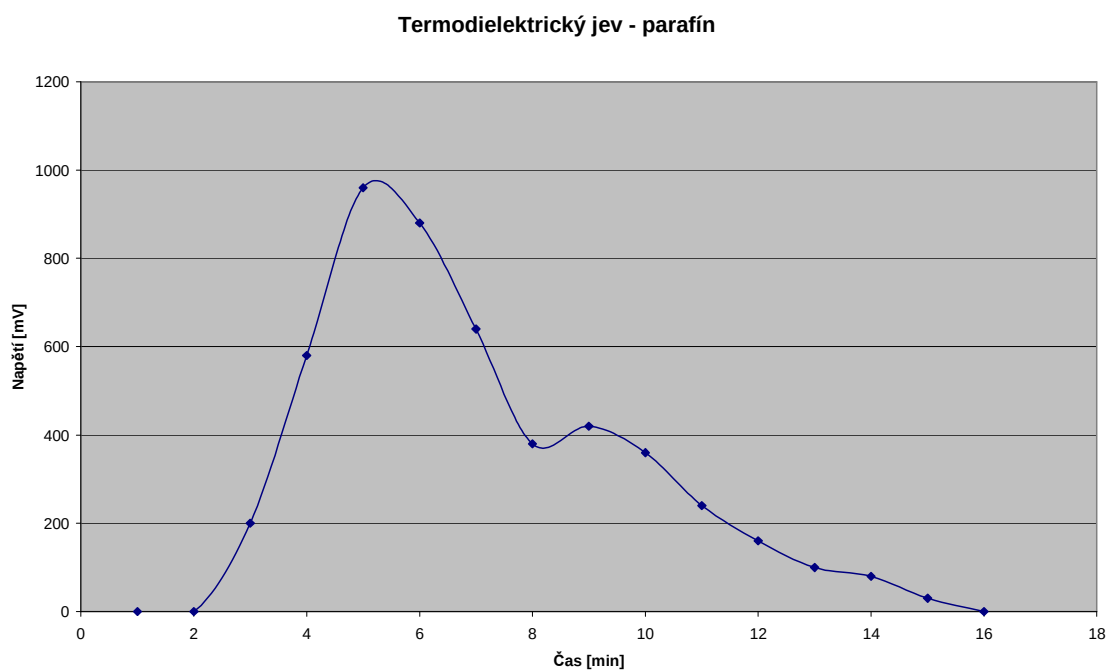
#### Měření číslo 1

| Podmínky měření |          |
|-----------------|----------|
| Teplota         | 22°C     |
| Tlak            | 99,9 kPa |
| Vlhkost vzduchu | 45%      |



| Závislost napětí $U$ na čase $t$ při<br>termodielektrickém jevu |          |
|-----------------------------------------------------------------|----------|
| $t$ [min]                                                       | $U$ [mV] |
| 1                                                               | 0        |
| 2                                                               | 0        |
| 3                                                               | 200      |
| 4                                                               | 580      |
| 5                                                               | 960      |
| 6                                                               | 880      |
| 7                                                               | 640      |
| 8                                                               | 380      |
| 9                                                               | 420      |
| 10                                                              | 360      |
| 11                                                              | 240      |
| 12                                                              | 160      |
| 13                                                              | 100      |
| 14                                                              | 80       |
| 15                                                              | 30       |
| 16                                                              | 0        |

**Graf závislosti:**



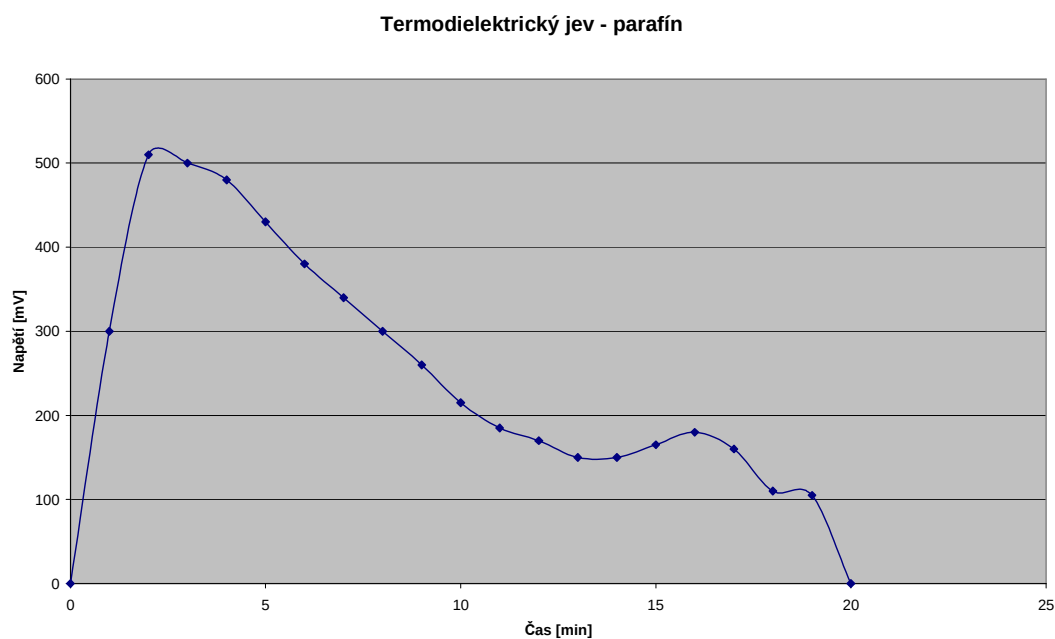
## Měření číslo 2

Při tomto měření jsem pozměnil postup během přípravy k měření jevu. Zkapalněný parafín jsem nalil do nádoby, která již byla postavena na vrstvě ledu.

| Podmínky měření |           |
|-----------------|-----------|
| Teplota         | 23°C      |
| Tlak            | 100,5 kPa |
| Vlhkost vzduchu | 43%       |

| Závislost napětí $U$ na času $t$ při<br>termodielektrickém jevu |          |
|-----------------------------------------------------------------|----------|
| $t$ [min]                                                       | $U$ [mV] |
| 1                                                               | 300      |
| 2                                                               | 510      |
| 3                                                               | 500      |
| 4                                                               | 480      |
| 5                                                               | 430      |
| 6                                                               | 380      |
| 7                                                               | 340      |
| 8                                                               | 300      |
| 9                                                               | 260      |
| 10                                                              | 215      |
| 11                                                              | 185      |
| 12                                                              | 170      |
| 13                                                              | 150      |
| 14                                                              | 150      |
| 15                                                              | 165      |
| 16                                                              | 180      |
| 17                                                              | 160      |
| 18                                                              | 110      |
| 19                                                              | 105      |
| 20                                                              | 0        |

## Graf závislosti:



V obou znázorněných grafech si můžeme povšimnout, že pokles napětí není rovnoměrný. V některých místech dochází k mírnému nárůstu napětí a vytváří se zde lokální maxima. K nárůstu napětí dochází přibližně ve stejné době, kdy se tvoří druhé fázové rozhraní u hladiny kapalného parafínu. Domnívám se tedy, že toto druhé fázové rozhraní může způsobovat nárůst měřeného napětí.



Obr. 21 – IV – Vznik druhého fázového rozhraní u hladiny kapalného parafínu

Experimentální potvrzení termodielektrického jevu je zajímavým doplněním výuky problematiky dielektrik. Experiment lze snadno realizovat při použití levných a dostupných materiálů. Během měření se manipuluje s kapalným parafínem, který dosahuje relativně nízké teploty. Tato manipulace je však nejnebezpečnější částí měření. Během této fáze je vhodné manipulaci s parafínem kontrolovat, aby nedošlo k případným poraněním. Po naměření závislosti napětí na času je nutné aparaturu vyčistit.



Obr. 22 – IV – Ztuhlý parafín po skončení měření termodielektrického jevu

Ztuhlý parafín jsem ponechal v nádobě pro měření termodielektrického jevu a tuto nádobu jsem zavěsil do vodní lázně. Pomalu jsem zvyšoval teplotu do chvíle, kdy došlo ke zkapalnění parafínu u stěny nádoby. Poté lze parafín snadno z nádoby vyjmout. Okraje nádoby zůstanou potřísněny parafínem. Tyto zbytky jsem odstranil tupým nožem. Následně jsem otřel stěny nádoby a elektrodu látkovým hadříkem namočeným v acetonu. Nádoba tak byla připravena k dalšímu měření. Výsledky měření mohou být ovlivněny chybou, která je dána nedokonalostí použitého chlazení spodní elektrody. Ledová vrstva neměla přesně rovinný tvar, a tak nádoba neležela na ledu celou plochou svého dna. Dalšími faktory ovlivňující výsledky jsou použité měřicí přístroje. Celkovou chybu odhaduji na 5%.

## 4.6 Měření dielektrické konstanty ledu

Vysoká hodnota dielektrické konstanty vody vybízí k využití této látky v demonstračních experimentech. Praxe již není tak jednoduchá. Dielektrickou konstantu vody jsem měřil během práce na svém diplomovém úkolu. Výsledky byly často obtížně reprodukovatelné. Během měření je nutné dbát na čistotu měřeného vzorku a aparatury. Nečistoty mohou způsobit vodivost vody a znehodnotit tak měřený vzorek. Pro demonstrační účely tedy nelze toto měření doporučit. Odlišná situace je u měření dielektrické konstanty ledu. Toto měření je poměrně snadno realizovatelné a výsledky měření dobře korespondují s teoretickými hodnotami.

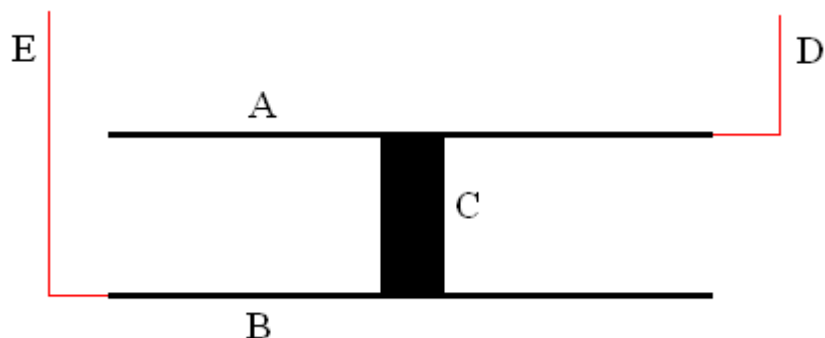
Výuku problematiky měření dielektrické konstanty ledu je možné rozšířit o výklad zaměřený na rozlišení jednotlivých fází ledu. Skutečnost, že led existuje v mnoha různých fázích, je poměrně málo známa. Na základních a středních školách není jednotlivým fázím ledu věnována hlubší pozornost. Kromě základní hexagonální fáze ledu se studenti s ostatními fázemi prakticky nesetkají. Domnívám se však, že s jednotlivými skupenstvími vody je třeba žáky detailně seznámit. Právě voda významně ovlivňuje náš život a těžko bychom hledali podobně významnou látku.

V první části výuky žáci sestojí jednoduchý kondenzátor vhodný pro měření dielektrické konstanty ledu. Změří kapacitu tohoto kondenzátoru (mezi elektrodami je pouze vzduch). Kondenzátor uloží do vhodné nádoby s vodou a tuto nádobu uzavřou do mrazicího boxu. Po několika hodinách se začne tvořit led. Vlastní měření dielektrické konstanty ledu je tedy vhodné odložit na následující den. V případě nutnosti je možné odložit měření o několik dní. Nádobu s utvořeným ledem vyjme z mrazicího boxu a elektrody připojíme k měřiči kapacity. Led začíná působením okolního prostředí tát, a proto není vhodné ponechat nádobu mimo mrazicí box příliš dlouhou dobu. Vlastní měření probíhá další vyučovací jednotku a nejedná se o časově náročný proces. Zbytek vyučovací jednotky je možné věnovat jednotlivým fázím ledu.

### **Výroba kondenzátoru:**

K výrobě kondenzátoru použijeme ocelový plech o tloušťce 0,25 mm. Z tohoto plechu vyřízneme kruhové elektrody o průměru 5,5 cm. Elektrody oddělíme malým kouskem bakelitu nebo jiného plastu, který přilepíme pomocí epoxidové pryskyřice na obě elektrody přibližně uprostřed. Je zřejmé, že tímto způsobem oddělení elektrod dojde k pozměnění vlastností kondenzátoru. Výsledky měření však ukazují, že tato chyba není příliš výrazná. Ke

každé z elektrod přiletujeme vývod. Tyto vývody vytvarujeme podle typu použité nádoby s ledem.



Obr. 23 – IV – Schéma kondenzátoru pro měření dielektrické konstanty ledu

Na Obr. 23 – IV je znázorněn kondenzátor vhodný pro měření dielektrické konstanty ledu. Elektrody A a B jsou odděleny plastovým válečkem C o výšce 5 mm. Na obě elektrody jsou naletovány vývody D a E. Délka vývodů musí být dostatečná, aby po vytvoření ledu bylo možné připojit měřič kapacity.



Obr. 24 – IV – Kondenzátor pro měření dielektrické konstanty ledu



Obr. 25 – IV – Detail kondenzátoru pro měření dielektrické konstanty ledu

Po vytvoření kondenzátoru je nutné změřit kapacitu. Následně kondenzátor ponoříme do vody v nádobě a uložíme do mrazáku. Po vytvoření ledu změříme kapacitu kondenzátoru vyplněného ledem. Poměr těchto dvou kapacit udává dielektrickou konstantu ledu. Následující tabulka udává statickou dielektrickou konstantu ledu pro různé teploty.

| Fáze ledu      | Teplota [°K] | Dielektrická konstanta |
|----------------|--------------|------------------------|
| I <sub>h</sub> | 273          | 91,5                   |
|                | 262,3        | 95,2                   |
|                | 252,2        | 98,8                   |
|                | 241          | 103                    |
|                | 228,4        | 109                    |
|                | 216,3        | 115                    |
| III            | 243          | 117                    |
|                | 253          | 112,5                  |
| IV             | 263          | 133,2                  |
|                | 243          | 144                    |
|                | 223          | 156,7                  |
| VI             | 273          | 172                    |
|                | 242          | 193                    |
|                | 223          | 210                    |

Údaje v předchozí tabulce jsou vypočítány ze vztahu, který v roce 1966 publikovali Hobbs, Jhon a Eyring. Vztah mezi statickou relativní permitivitou a molekulárními parametry daného materiálu zkoumal již Onsager. Jeho slavná rovnice popisuje kapalně dielektrikum při zanedbání sil krátkého dosahu a za předpokladu, že molekuly látky jsou homogenně polarizované koule. Tento Onsagerův vztah platí pouze pro slabě polární dielektrika a při dostatečně vysokých teplotách. Onsagerovu rovnici můžeme napsat ve tvaru

$$\frac{(\epsilon_r - n^2) \cdot (2\epsilon_r - n^2)}{\epsilon_r \cdot (n^2 + 2)^2} = \frac{N}{3\epsilon_0} \cdot \frac{p^2}{3kT}, \quad (58 - IV)$$

kde  $n$  je index lomu materiálu,  $N$  je koncentrace dipólových molekul v krychlovém metru,  $p$  je dipólový moment,  $k$  je Boltzmannova konstanta a  $T$  je termodynamická teplota.

Nepřesnost uvedeného vzorce řešil Kirkwood, který do rovnice zavedl korekční člen respektující síly krátkého dosahu. Tento redukční faktor označujeme  $g$  a platí vztah

$$g = 1 + z \cdot \overline{\cos \gamma}, \quad (59 - IV)$$

kde  $z$  je střední počet sousedních dipólových momentů v jednotce objemu a  $\overline{\cos \gamma}$  je střední hodnota kosinu úhlu mezi sousedními dipóly. Kirkwoodův vzorec pak píšeme ve tvaru

$$\frac{(\epsilon_r - n^2) \cdot (2\epsilon_r - n^2)}{\epsilon_r \cdot (n^2 + 2)^2} = \frac{N}{3\epsilon_0} \cdot \frac{p^2}{3kT} \cdot g. \quad (60 - IV)$$

Ani Kirkwoodův vzorec se nehodí pro výpočet statické dielektrické konstanty ledu v závislosti na molekulárních parametrech. Molekula vody je silně polární a teplota ledu je příliš nízká. Tento problém řeší vztah odvozený Hobbsem, Jhonem a Eyringem ve tvaru

$$\epsilon_r = \frac{n^2}{2} + \frac{n^4}{2\epsilon_r} + 6\pi N_A \cos^2 \theta \left( \frac{p^2}{k} \right) \left( \frac{n^2 + 2}{3} \right)^2 \left( \frac{1}{V_s T} \right), \quad (61 - IV)$$

kde  $N_A$  je Avogadrova konstanta a  $V_s$  je molární objem ledu. Tímto vztahem opouštíme Kirkwoodův model, který předpokládá volnou rotaci nejbližších sousedů centrální molekuly okolo vodíkových můstků. Uvedený vztah předpokládá doménovou strukturu vody. Jednotlivé domény mají dipólový moment  $\mu \cdot \cos \theta$ , kde  $\theta$  je úhel mezi přiloženým elektrickým polem a dipólovým momentem domény. Abychom vzorec mohli využít, je třeba dosadit jednotlivé veličiny v jednotkách soustavy CGS. Index lomu, relativní permitivita, Avogadrovo číslo, termodynamická teplota a úhel mezi přiloženým polem a dipólovým momentem domény jsou nezávislé na volbě soustavy. Jednotkou dipólového momentu v soustavě SI je  $C \cdot m$ . Do vztahu však musíme dosazovat v statcoulombech a centimetrech. Využijeme převodního vztahu

$$1C = 2,99792 \cdot 10^{-9} \text{ statC}.$$

Můžeme se setkat s hodnotou dipólového momentu molekuly udanou v debye. Pak platí, že

$$1D = 10^{-18} \text{ statC} \cdot \text{cm}.$$

Do jednotek CGS je potřeba převést i Boltzmannovu konstantu. V jednotkách SI je Boltzmanova konstanta rovna

$$k = 1,3806503 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}.$$

Jednotku joule je třeba převést na jednotku erg. Platí, že

$$1\text{erg} = 10^{-7} \text{ J}.$$

Boltzmannova konstanta tak získává tvar

$$k = 1,3806503 \cdot 10^{-16} \text{ erg} \cdot \text{K}^{-1}.$$

Dále si musíme uvědomit, že jednotkou objemu v soustavě CGS je krychlový centimetr a v tomto smyslu do vzorce správně dosadit. Index lomu ledu je roven  $n = 1,31$ .

Dále dosadíme hodnotu  $\cos^2 \theta = 0,977$  pro led  $I_h$ . Molární objem ledu  $I_h$  je roven

$$V_s = 19,65 \text{ cm}^3.$$



Jednotlivé fáze ledu se liší svou strukturou. Některé fáze vznikají pouze při tuhnutí vody za vysokého tlaku. Tyto exotické fáze nebyly ještě dostatečně prozkoumány a některé jsou předpovězeny pouze teoreticky. Ve výkladu pro základní a střední školy postačí zmínit jen nejběžnější fáze ledu. V základním vysokoškolském kurzu může být výklad podrobnější. V detailnějším pohledu na jednotlivé fáze se pak student neobejde bez základních znalostí fyziky pevných látek.

### **Fáze I<sub>h</sub>**

Struktura této nejběžnější fáze ledu byla teoreticky popsána Paulingem v roce 1935. Paulingův model byl potvrzen neutronovou difrakcí v roce 1957 (Peterson, Levy). Tato fáze ledu vzniká při tuhnutí vody za normálního atmosférického tlaku. Struktura fáze I<sub>h</sub> je hexagonální.

### **Fáze I<sub>c</sub>**

Fáze I<sub>c</sub> se vyznačuje kubickou strukturou. Jedná se o metastabilní variantu fáze I<sub>h</sub>. Objev této fáze datujeme do roku 1943. Analýzu struktury provedl König pomocí elektronové difrakce. Fáze I<sub>c</sub> vzniká tuhnutím vody při 130 až 150 K (při nižších teplotách vzniká amorfni fáze ledu). Při zahřívání fáze I<sub>c</sub> dojde okolo teploty 200 K k transformaci na fázi I<sub>h</sub>. Fáze I<sub>c</sub> je hojně využívána v teoretických modelech, protože její použití značně zjednodušuje výpočet.

### **Amorfní led**

Tuto fázi ledu můžeme rozlišit do dvou forem. Amorfní led malé hustoty (LDA – low density amorphous) s hustotou  $\rho = 940 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  a amorfní led vysoké hustoty (HDA – high density amorphous) s hustotou  $\rho = 1170 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Podle teoretických modelů (Okabe) vzniká amorfní led HDA při teplotě 77 K a tlaku 1,27 GPa. Fázi HDA můžeme rovněž připravit stlačením fáze I<sub>c</sub> (Johari, 1990). Amorfní led LDA pak vzniká zahřátím ledu HDA na teplotu 160 K ve vakuu. Přechody mezi fázemi LDA a HDA vykazují hysterezi.

### **Fáze II**

Struktura této fáze je romboedrická. Vzniká stlačením fáze I<sub>h</sub> při teplotě 190 – 210 K. Případně lze tuto fázi připravit z fáze V za sníženého tlaku a teplotě 243 K. Zahříváním dochází k přeměně na fázi III, ale opačný proces se nepodařilo uskutečnit.

### **Fáze III**

Tuto fázi ledu získáváme při snižování teploty na 250 K při tlaku 300 MPa. Struktura fáze III je tetragonální. Hustota dosahuje hodnoty  $\rho = 1160 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  při tlaku 350 MPa. Výzkum

této fáze (Whalley, 1968) ukázal, že v intervalu 165 – 208 K dochází k výraznému poklesu dielektrické konstanty.

#### Fáze IV

Fáze IV se vyskytuje jako metastabilní fáze. Tato fáze se velice těžko připravuje bez použití nukleačního činidla (L.F. Evans, 1967). Struktura fáze je romboedrická.

#### Fáze V

Tato fáze ledu vzniká z kapalně vody snižováním teploty na 253 K při tlaku 500 MPa. Struktura fáze je nejsložitější ze všech fází ledu. Základní buňka je monoklinická s 28

molekulami. Led této fáze dosahuje hustoty  $\rho = 1240 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$  při 350 MPa.

#### Fáze VI

Fáze VI se připravuje z kapalně vody snižováním teploty na 270 K při tlaku 1,1 GPa.

Při tlaku 0,6 GPa dosahuje hustoty  $\rho = 1310 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Struktura fáze je tetragonální.

#### Výsledky měření:

Po sestavení kondenzátoru jsem změřil jeho kapacitu. Kapacitu prázdného kondenzátoru jsem změřil univerzálním LCR – metrem a její hodnota je  $C_0 = 8,8 \text{ pF}$  při frekvenci  $f = 1 \text{ kHz}$ .

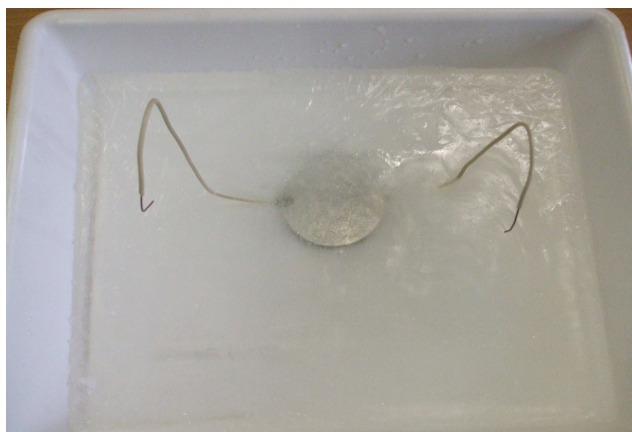


Obr. 26 – IV – Měření kapacity prázdného kondenzátoru

Následně jsem kondenzátor ponořil do vody a uložil do mrazicího boxu. Teplotu v boxu jsem změřil teploměrem Greisinger GMH 3710. Tato teplota byla  $t = -19,6^\circ\text{C}$ .



Obr. 27 – IV – Kondenzátor vložený do vody



Obr. 28 – IV – Kondenzátor vyplněný ledem

Následující den jsem nádobu s vytvořeným ledem vyjmul z boxu a změřil kapacitu kondenzátoru vyplněného ledem.

Kapacita dosahovala hodnoty  $C_x = 784,3$  pF při frekvenci  $f = 1$  kHz. Hodnoty obou kapacit jsem dosadil do vztahu

$$\epsilon_r = \frac{C_x}{C_0}.$$

Měření jsem několikrát opakoval a výsledky zpracoval do tabulky.

| Dielektrická konstanta ledu                |                                             |                                     |
|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|
| Kapacita prázdného kondenzátoru $C_0$ [pF] | Kapacita vyplněného kondenzátoru $C_x$ [pF] | Dielektrická konstanta $\epsilon_r$ |
| 8,8                                        | 784,3                                       | 89,13                               |
| 8,8                                        | 784,1                                       | 89,1                                |
| 8,8                                        | 784,8                                       | 89,18                               |
| 8,8                                        | 785,1                                       | 89,22                               |
| 8,8                                        | 784                                         | 89,09                               |
| 8,8                                        | 784,1                                       | 89,1                                |
| 8,8                                        | 783,6                                       | 89,05                               |
| 8,8                                        | 784,6                                       | 89,16                               |
| 8,8                                        | 784,9                                       | 89,19                               |
| 8,8                                        | 785,2                                       | 89,23                               |
| střední hodnota                            |                                             | 89,15                               |
| směrodatná odchylka                        |                                             | 0,06                                |

Tab. 4 – IV – Naměřené hodnoty dielektrické konstanty ledu

## 4.7 Příspěvek dielektrických měření k rozvoji kritického myšlení

Domnívám se, že jedna z nejdůležitějších úloh současného vzdělávání je výchova ke kritickému myšlení. Prakticky každodenně se setkáváme se zprávami o zcela naivních podvodech, jejichž obětí se stávají lidé, kteří o dané problematice nemají přehled. Podvodníci často používají odbornou terminologii, která je pro laika zcela zavádějící. Většina podvodů však stojí na základech tvořených prostou lží a dezinterpretací. Lidé bez patřičných základních znalostí snadno uvěří například léčebné síle tachyonů nebo neomylnosti astrologických předpovědí. Škola by měla žáky vybavit nejen potřebnými informacemi, ale rovněž by měla vypěstovat schopnost nepodlehnout prvnímu dojmu a naléhavosti sdělení. Schopnost vytvořit si vlastní co nejobjektivnější názor, zaujmout patřičný odstup, spolehnout se na vlastní znalosti a zkušenosti. Tyto schopnosti jako celek pak tvoří kritické myšlení, které může být pro žáka v běžném životě velice cenné. Není možné vybavit žáky takovým množstvím vědomostí, aby bylo zaručeno, že případnému podvodu nepodlehnou. Výhodnější je vypěstovat způsob myšlení, který způsobí, že žák neuvěří léčebným účinkům „tachyonizované“ vložky do bot za 1300 Kč.

Na nutnost rozvoje kritického myšlení poukazuje i Piaget: „Hlavním cílem vzdělávání je vytvářet lidi schopné udělat něco nového, nejen prostě opakovat, co udělaly už jiné generace – lidi, kteří jsou tvořiví, vynalézaví a schopní objevovat. Druhým cílem vzdělávání je napomáhat formování mysli, jež umějí být kritické, umějí ověřovat a nepřijímat vše, co se jim nabídne. Velké nebezpečí dneška představují hesla..., předem připravené směry myšlení. Musíme být schopni individuálně vzdorovat, kritizovat, rozlišovat mezi tím, co je dokázáno a co není. Proto potřebujeme žáky, kteří jsou aktivní, kteří se brzy naučí poznávat samostatně, zčásti svou vlastní spontánní činností a zčásti prostřednictvím látky, kterou jim připravíme; kteří se brzy naučí odlišit, co lze ověřit, a co je jen první myšlenka, která je napadla.“ (Podle Balcara, 1982)

Jednota českých matematiků a fyziků schválila podporu kritického myšlení i v programu své činnosti v období 2006 – 2010: „Jednota bude přispívat ke zvyšování povědomí veřejnosti o významu matematiky a fyziky, šíření matematických a fyzikálních znalostí a k popularizaci matematiky a fyziky mezi mládeží a širokou veřejností. Jednota bude propagovat naše obory a prosazovat kritické myšlení.“

V posledních letech pozorujeme úpadek zájmu o přírodovědné obory, a tak se obecné povědomí o technologickém pokroku spíše zhoršuje. Tato situace nahrává různým

pochybným firmám, které prodávají evidentně nefunkční produkty. Věda a moderní technologie jsou odsunuty do pozadí. Stalo se módou mezi mediálně známými osobnostmi tvrdit, že matematika s fyzikou byly nejhoršími předměty v průběhu studia a že v současnosti vlastně již nic z těchto oborů neovládají. Popularizace vědy není atraktivním tématem pro média, a tak dostávají více prostoru věštcí, kartárky, léčitelé a tvůrci konspiračních teorií. Nikoho pak nezajímá, že ve znělce hlavní zpravodajské relace veřejnoprávní televize se model Země otáčí opačně než ve skutečnosti.

Zcela jasným úkolem nejen pro učitele pak musí být zvrácení současného nepříznivého vývoje. Kromě učitelů fyziky a dalších přírodovědných oborů se musí zapojit i učitelé oborů humanitních. Domnívám se, že není vhodné věnovat určitý počet hodin pouze pro vysvětlování neúčinnosti jednotlivých produktů, přístupů a metod. Daleko přínosnější je vysvětlit danou metodu v souvislosti s konkrétním experimentem. Vytváření roztoků různých koncentrací je doménou homeopatie. Ověřování závislosti dielektrické konstanty na koncentraci roztoku může tuto tematiku nenásilně uvést.

#### **4.7.1 Dielektrická konstanta roztoků**

Měření dielektrické konstanty roztoků nabízí propojení chemie a fyziky. Studenti v rámci měření využijí znalosti například směšovacího pravidla, hmotnostního a objemového zlomku. Měření je vhodné realizovat formou laboratorní práce, kdy studenti měří dielektrickou konstantu směsi při různých koncentracích. Nejlépe se osvědčilo měření směsi líh – voda. Výroba této směsi není drahá. Studenti budou pracovat s hořlavinou, proto je vhodné před vlastním měřením zopakovat zásady bezpečnosti práce s hořlavými materiály. Směs je výhodná i z hlediska velmi rozdílných hodnot dielektrické konstanty obou složek, a proto je měření názorné a průkazné.

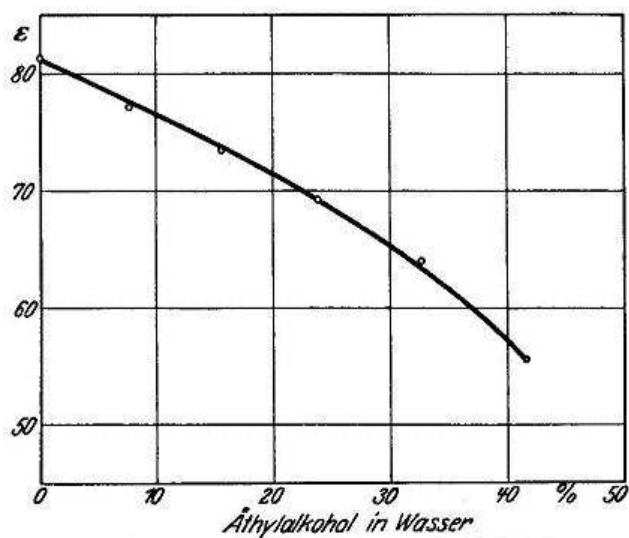
K vlastnímu měření jsem vyrobil válcový kondenzátor. Tento kondenzátor je tvořen válcovou skleničkou a kádinkou. Obě nádoby jsem polepil alobalem (skleničku zvnějšku a kádinku zevnitř). Vznikl tak jednoduchý válcový kondenzátor, který je vhodný k měření dielektrické konstanty kapalných dielektrik. Cena jednotlivých složek kondenzátoru je zanedbatelná. Při častém používání kondenzátoru je třeba věnovat během výroby zvýšenou pozornost kvalitě spoje vodič – elektroda. Jinak se však takto vytvořený kondenzátor jevil jako levný, praktický a snadno vyrobitelný.

K měření jsem tvořil různě koncentrované směsi. Nejprve jsem zjišťoval hustotu lihu pro určení hmotnostního zlomku. Hodnota hustoty byla uvedena na láhvi použitého lihu a tuto

hodnotu jsem následně ověřil změřením hmotnosti 100 ml lihu na digitálních vahách Lutron GM – 5000. Objem 100 ml jsem měřil pomocí odměrného válce. Obě hodnoty hustoty se shodovaly. Hustota lihu je tedy 0,81 g na kubický centimetr. Pomocí odměrného válce a injekční stříkačky jsem v kádince vytvořil směs příslušné koncentrace a tuto směs jsem následně nalil do kondenzátoru. Změřil jsem kapacitu kondenzátoru a porovnal tuto hodnotu s kapacitou stejného kondenzátoru bez nalité směsi. Poměr hodnot udává dielektrickou konstantu. Kapacitu kondenzátoru jsem měřil univerzálním LCR – metrem ELC – 131D při frekvenci 1 kHz. Měření jsem několikrát opakoval i pro jiné koncentrace a naměřené údaje graficky zpracoval. Výsledná závislost dielektrické konstanty na koncentraci roztoku je lineární závislostí. Tento výsledek je zcela v souladu s předpoklady a s tabulkovými hodnotami (Obr. 29 – III). Z plochy polepů a jejich vzdálenosti jsem po dosazení do vztahu pro výpočet kapacity válcového kondenzátoru získal teoretickou hodnotu kapacity 24,12 pF. Kapacitu prázdného kondenzátoru jsem změřil LCR – metrem a získal jsem hodnotu 32,1 pF. K nepřesnosti došlo pravděpodobně díky nedokonalému tvaru kondenzátoru. Pro určení závislosti dielektrické konstanty na koncentraci roztoku však tento rozpor není zásadní. Pro výpočet dielektrické konstanty jsem použil naměřenou hodnotu kapacity prázdného kondenzátoru.

Před měřením směsi líh – voda jsem provedl orientační měření dielektrické konstanty některých látek. Měření proběhlo při teplotě 25°C.

| Orientační měření dielektrické konstanty některých látek |                 |                                             |                                            |
|----------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------|--------------------------------------------|
| Látka                                                    | Teplota<br>[°C] | Tabulková hodnota<br>dielektrické konstanty | Naměřená hodnota<br>dielektrické konstanty |
| Voda                                                     | 25              | 80                                          | 88,74                                      |
| Aceton                                                   | 26,5            | 20,7                                        | 22,94                                      |
| Líh                                                      | 25              | 24,3                                        | 19,22                                      |



Obr. 29 – IV – Graf závislosti dielektrické konstanty směsi líh – voda na koncentraci

### Výsledky měření:

Podmínky měření:

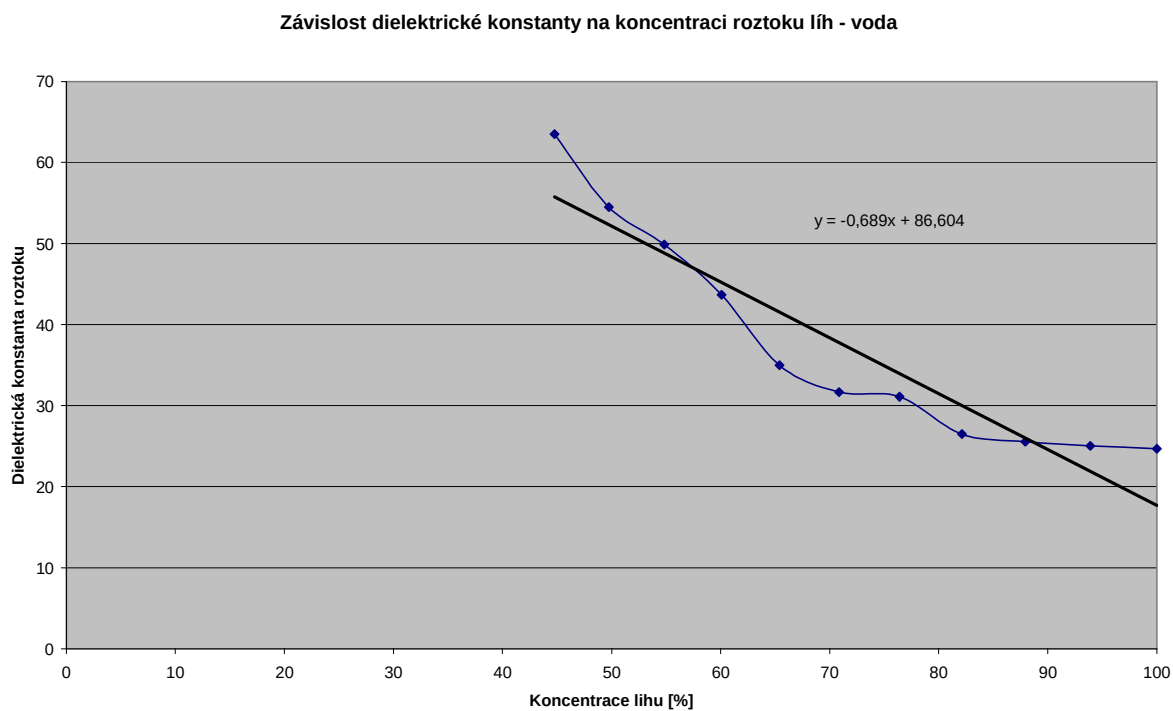
|         |           |
|---------|-----------|
| Teplota | 25°C      |
| Tlak    | 100,6 kPa |
| Vlhkost | 40%       |

Naměřené hodnoty:

| Závislost dielektrické konstanty na koncentraci roztoku |                      |                      |                                                    |                           |
|---------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------|---------------------------|
| Koncentrace<br>líhu [%]                                 | Hmotnost líhu<br>[g] | Hmotnost vody<br>[g] | Kapacita<br>kondenzátoru<br>s dielektrikem<br>[nF] | Dielektrická<br>konstanta |
| 100                                                     | 65,61                | 0                    | 0,7922                                             | 24,68                     |
| 93,9                                                    | 65,61                | 4,26                 | 0,8034                                             | 25,03                     |
| 87,94                                                   | 65,61                | 9                    | 0,8204                                             | 25,56                     |
| 82,12                                                   | 65,61                | 14,29                | 0,8502                                             | 26,49                     |
| 76,42                                                   | 65,61                | 20,25                | 0,998                                              | 31,09                     |
| 70,85                                                   | 65,61                | 27                   | 1,017                                              | 31,68                     |
| 65,4                                                    | 65,61                | 34,71                | 1,123                                              | 34,98                     |
| 60,07                                                   | 65,61                | 43,62                | 1,402                                              | 43,68                     |
| 54,85                                                   | 65,61                | 54                   | 1,601                                              | 49,88                     |

|       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 49,75 | 65,61 | 66,27 | 1,749 | 54,49 |
| 44,75 | 65,61 | 81    | 2,038 | 63,49 |

Grafické zpracování:



Podmínky měření:

|         |           |
|---------|-----------|
| Teplota | 25°C      |
| Tlak    | 100,4 kPa |
| Vlhkost | 42%       |

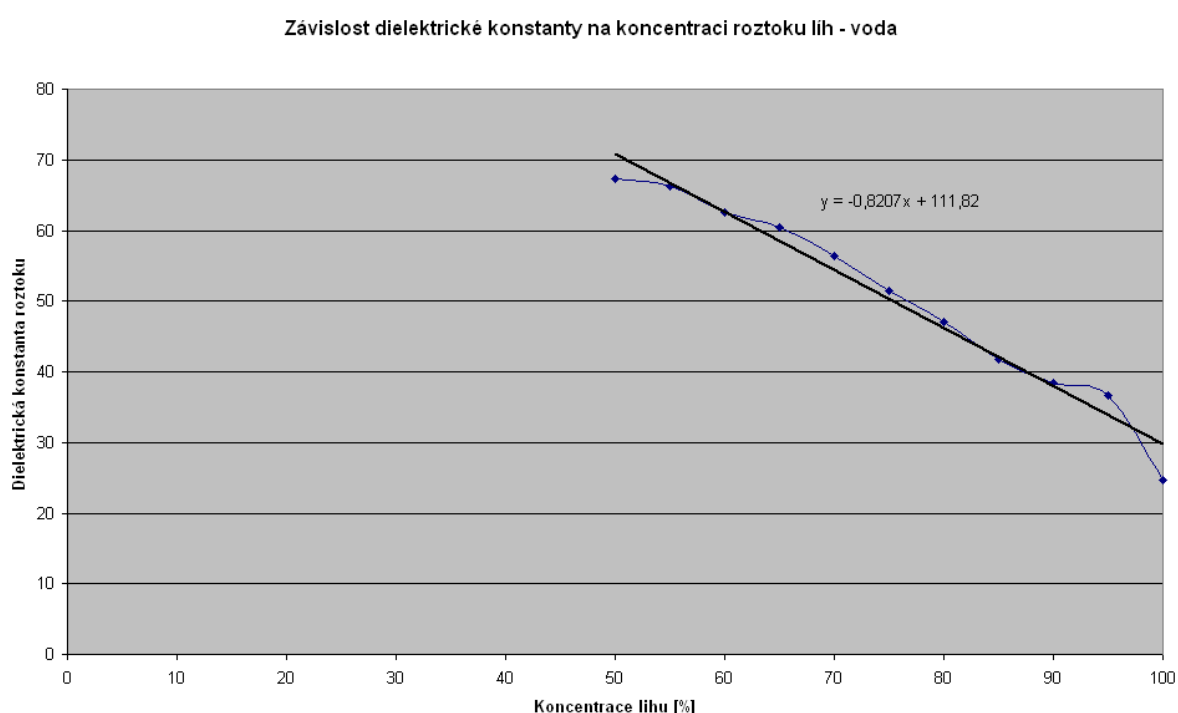
Naměřené hodnoty:

| Koncentrace líhu [%] | Hmotnost líhu [g] | Hmotnost vody [g] | Kapacita kondenzátoru s dielektrikem [nF] | Dielektrická konstanta |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------------------------------|------------------------|
| 100                  | 81                | 0                 | 0,7922                                    | 24,68                  |
| 95                   | 81                | 4,26              | 1,175                                     | 36,6                   |
| 90                   | 81                | 9                 | 1,231                                     | 38,35                  |
| 85                   | 81                | 14,29             | 1,338                                     | 41,68                  |



|    |    |       |       |       |
|----|----|-------|-------|-------|
| 80 | 81 | 20,25 | 1,51  | 47,04 |
| 75 | 81 | 27    | 1,653 | 51,5  |
| 70 | 81 | 34,71 | 1,811 | 56,42 |
| 65 | 81 | 43,62 | 1,939 | 60,4  |
| 60 | 81 | 54    | 2,01  | 62,62 |
| 55 | 81 | 66,27 | 2,129 | 66,32 |
| 50 | 81 | 81    | 2,159 | 67,26 |

Grafické zpracování:



#### 4.7.2 Homeopatie

Mezi jednotlivými metodami alternativní medicíny zažívá rozkvět homeopatie. Některé homeopatické produkty jsou masově propagovány. Snahou homeopatie je zakomponování této metody do konvenční medicíny. Vznikají tak homeopatické ordinace, odborné semináře či konference. To vše přestože neexistuje jediná důvěryhodná studie, která by dokazovala účinnost této metody. Pokud se v minulosti vyskytly studie dokazující léčebné účinky homeopatie, jejich životnost byla velice krátká. Již nedlouho po publikování takové studie bylo vždy poukázáno na neodbornost provedení. Odborně vedené dvojité zaslepené

studie přirovnaly účinek homeopatického přípravku k placebo efektu. Homeopatie samotná obsahuje několik logických rozporů a štěpí se do několika podobných odvětví. Jednotlivá odvětví používají zcela opačné metody, přesto jejich představitelé potvrzují účinnost právě jejich přístupu. Vznik homeopatie datujeme do 18. století a od svého počátku se tento obor prakticky nezměnil. To je naprosto odlišný vývoj, než který prodělala klasická medicína. Podobný vývoj však můžeme pozorovat například u astrologie.

Základem homeopatie je několik principů, které při bližším pohledu neobstojí. Jedním z nich je například léčba podobného podobným (*similia similibus curentur*). Tento princip znamená, že horečku je vhodné léčit preparátem, který horečku rovněž vyvolává. Případně při otravě olovem je vhodné pacientovi podávat olovo další. Již z tohoto je vidět, jaké absurdní důsledky tento princip přináší. Dalším pilířem homeopatie je zákon infinitezimálního ředění. Zkráceně se jedná o naředění účinné látky v médiu do zcela minimální koncentrace. Tento zákon je pravděpodobně nejvíce kontroverzní. Homeopati totiž ředí své preparáty do koncentrací, které již prakticky nemohou obsahovat jedinou molekulu původní účinné látky. Znamená to, že pacientovi podávají pouze médium (nejčastěji cukr).

Základním homeopatickým ředěním je ředění centisimální, které se označuje písmenem C. Pokud naředíme preparát do koncentrace C1, znamená to, že účinná látka (velice často rostlinný výtažek) je naředěna v poměru 1:100 k médiu. Jako médium se používá dvakrát destilovaná voda případně líh. Dalším stupněm je ředění C2, kdy preparát naředěný do koncentrace C1 opět zředíme v poměru 1:100. V preparátu pak bude připadat jeden díl účinné látky na 10 000 dílů destilované vody nebo lihu. Pokud bychom v ředění pokračovali, u koncentrace C10 – C12 máme téměř jistotu, že v preparátu není ani jedna molekula účinné látky. Výpočet bychom museli provést pro konkrétní účinnou látku. Tato jednoduchá úvaha však homeopaty nechává v klidu, a tak běžně používají preparáty naředěné do koncentrací C20, C30, C100, C200 (televizní reklamou propagované *Oscillococcinum*), C500 a dokonce i ředění M2, které odpovídá koncentraci C2000.

Po tomto vyvrácení základního principu se homeopati obrátili na kvantovou mechaniku. V současnosti vysvětlují účinnost svých preparátů na základě tzv. kvantového otisku, který účinná látka zanechává v preparátu. Otisk je formou informace, která se dalším ředěním rozšiřuje po celém preparátu a zvyšuje jeho účinnost. Informace se přenáší díky clusterové struktuře vody. Tato struktura je známa, nicméně clustery nejsou stabilními útvary. Rozpad clusterů se děje v řádu pikosekund. Dalším problémem je, proč by se měla přenášet pouze informace o účinné látce. Kdo někdy pracoval s extrémně čistými látkami, může

potvrdit, jak snadno se do těchto látek dostávají nečistoty. Proč se však tyto nečistoty, kterým se nelze vyhnout, neotiskují a nerozšiřují, homeopati nedokážou vysvětlit.

Homeopatie tedy nemá žádný prokazatelný léčebný účinek. Tolik oslavované preparáty jsou pouze tabletkami z cukru či jiné neškodné látky. Případný pozitivní dopad homeopatické léčby je možné ztotožnit s placebo efektem.

Po naměření závislosti dielektrické konstanty na koncentraci roztoku je zřejmé, že čím více vody směs obsahuje, tím větší je hodnota dielektrické konstanty. Čistý líh dosahuje přibližně třetinové hodnoty dielektrické konstanty oproti dielektrické konstantě vody. Po uskutečnění měření se pokusíme aplikovat základní principy homeopatie. V této fázi vyučovací jednotky žákům vysvětlíme základní myšlenky homeopatie a rozpor mezi homeopatií a současnou medicínou. Žáky seznámíme s homeopatickým ředěním a vytvoříme roztok velmi nízké koncentrace. Využijeme mikropipety Hamilton Microliter Syringe 7001, pomocí které můžeme odměřit objem 1  $\mu$ l.



Obr. 30 – IV – Mikropipeta Hamilton Microliter Syringe 7001

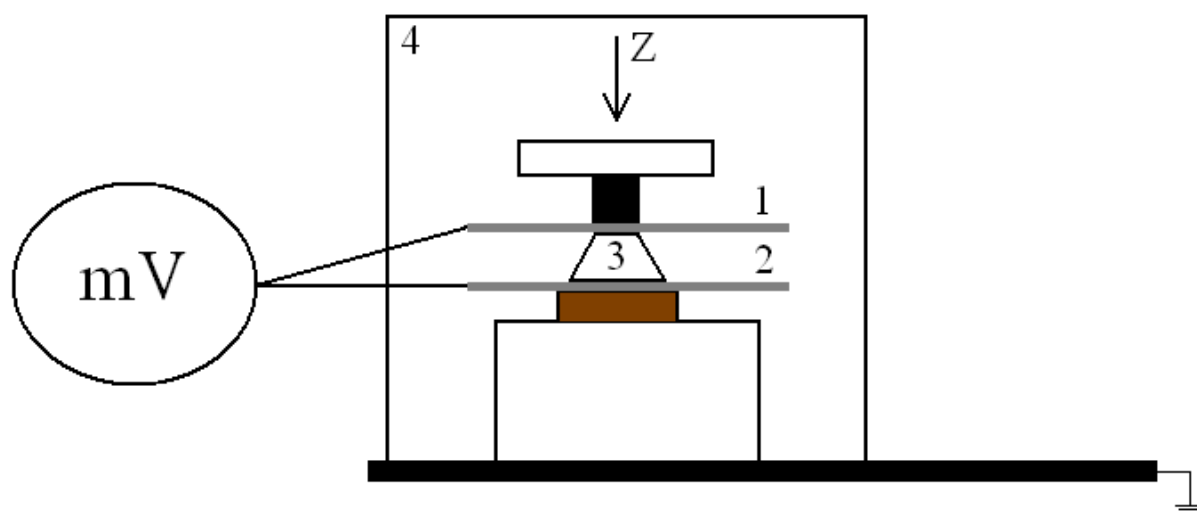
Mikropipetou tedy odměříme 1  $\mu$ l vody a vsříkneme ji do nádoby s lihem o objemu jednoho litru. Tím jsme dosáhli koncentrace, kterou homeopatie označuje jako C3. Nyní se zeptáme žáků: „Změní se vlastnosti 1 litru lihu po vsříknutí 1  $\mu$ l vody?“, „Jakou naměříme dielektrickou konstantu?“. Následně změříme dielektrickou konstantu naředěné směsi a přesvědčíme se, že hodnota dielektrické konstanty se nezměnila oproti hodnotě dielektrické

konstanty čistého lihu. Nesmyslnost homeopatie můžeme dokreslit i otázkou: „Jak bude chutnat čaj, který osladíme pouze zrnkem cukru?“, či: „Podaří se nám namíchat kvalitní beton, když do míchačky přidáme pouze čajovou lžičku cementu?“. Vyučovací jednotku zakončíme moderovanou diskusí. Můžeme rovněž hledat společné znaky homeopatie a astrologie, diskutovat o úspěšnosti horoskopů a dalších věšteckých vizí.

## 4.8 Flexoelektrický jev

Tento jev byl poprvé pozorován v roce 1901 Astonem, který vytvořil kondenzátor, jehož elektrody byly tvořeny mosaznými deskami. Mezi elektrody umístil vulkanizovaný kaučuk. Poté nechal dopadat na elektrody závaží a pozoroval záporný a kladný napěťový impuls. Tyto impulsy souvisely se stlačením a rozpínáním kaučukového vzorku. Aston se domníval, že vzniklé napěťové impulsy souvisí s polarizací dielektrika v důsledku mechanického namáhání. Jevo byl pozorován u polymerních látek a další výzkumy prováděli například Dogadkin, Gul či Tagancev. Právě Tagancev popisuje flexoelektrický jev jako „polarizaci u nehomogenně deformovaného krystalu, která je úměrná gradientu deformace, jestliže kvadrupólový moment nedeformovaného krystalu je roven nule“. U polymerních látek bylo zjištěno, že mechanická deformace je svázána s orientací částí molekul. Zvětšování deformace pak vede ke zvětšení separovaného náboje. Efekt probíhá s jinou účinností u polárních a u nepolárních látek.

Mechanická deformace může být uskutečněna mnoha způsoby – ohybem, tlakem, zkrutem apod. Ohybové zkoušky jsou často špatně reprodukovatelné. Následující schéma ukazuje sestavenou aparaturu pro měření flexoelektrického jevu u vzorku deformovaného tlakem.



Obr. 31 – IV – Schéma aparatury pro měření flexoelektrického jevu

Tato aparatura je složena ze dvou mosazných kruhových elektrod 1 a 2. Vzorek 3 je vložen mezi tyto elektrody. Horní elektroda je spojena s deskou, na kterou se umísťuje závaží o vhodné hmotnosti (0,5 – 10 kg). Spodní elektroda leží na jantarovém válečku, který je umístěn na kovovém válci. Tento kovový válec dosedá na uzemněnou podložku. Tato část aparatury je stíněna plechovým krytem (4). Z elektrod vedou vodiče do milivoltmetru. Tvar

vzorku (komolý jehlan) zaručuje po zatížení vznik nehomogenní deformace. Aparaturu je možné vylepšit vhodným tvarem elektrod.

Měření značně komplikují další faktory jako triboelektřina nebo kontaktní napětí. Tyto faktory lze do jisté míry eliminovat nastříkáním grafitových elektrod na vzorek a ponořením povrchu do glycerínu či lihu.

## **4.9 Webová prezentace teoretických a didaktických poznatků nauky o dielektrikách**

Rozvoj informačních technologií, který v posledních letech zažíváme, usnadnil přístup studentů i učitelů k nejnovějším informacím z jednotlivých oborů. Díky Internetu můžeme sledovat náročné experimenty prakticky v přímém přenosu (srážky protonů v LHC). Zároveň je Internet i bohatým zdrojem námětů pro práci s žáky. Učitelé si prostřednictvím sítě vyměňují své zkušenosti a diskutují nad aktuálními problémy vzdělávání. Teoretický popis a didaktické aspekty nauky o dielektrikách však dosud v ucelené formě nebyl zpracován. Rozhodl jsem se tuto skutečnost napravit a vytvořit webovou prezentaci, která by studentům i učitelům problematiku přiblížila. Internetové stránky jsou tedy koncipovány jako „manuál“ pro výuku dielektrik a zároveň studijní materiál shrnující důležité informace o problematice. Výhodou takto vytvořených stránek je jejich okamžitá dostupnost kdekoli na světě, možnost jejich snadné editace a možnost využití atraktivních grafických prvků. Stránky obsahují i kontakt na autora, a proto je možné případné nejasnosti konzultovat prostřednictvím elektronické pošty. Stránky v offline verzi jsou obsahem přiloženého CD. Následující kapitola stručně uvádí obsah jednotlivých stránek.

### **4.9.1 Hlavní stránka webové prezentace <<http://dielektrika.kvalitne.cz/index.html>>**

Hlavní stránka prezentace uvádí náplň jednotlivých odkazů. Stránka rovněž obsahuje odkazy na kapitoly Základní veličiny a vztahy <<http://dielektrika.kvalitne.cz/zaklad.html>>, Kapitoly z obecné psychologie <<http://dielektrika.kvalitne.cz/obecpsych.html>> a Kapitoly z didaktiky <<http://dielektrika.kvalitne.cz/didaktika.html>>. Tyto jednotlivé odkazy je vhodné prostudovat před vlastním studiem problematiky dielektrik.

Dále jsou na hlavní stránce umístěny odkazy na jednotlivé tématické celky, použitou literaturu a kontaktní informace. Odkaz Teorie dielektrik <<http://dielektrika.kvalitne.cz/teordiel.html>> obsahuje popis jednotlivých kapitol zaměřených na teoretický popis dielektrik, odkaz Didaktika problematiky <<http://dielektrika.kvalitne.cz/didaktdiel.html>> uvádí obsah kapitol s didaktickým zaměřením (řešené příklady, pokusy s dielektriky, historie výzkumu dielektrik). Odkaz Literatura <<http://dielektrika.kvalitne.cz/literatura.html>> obsahuje konkrétní literaturu použitou při tvorbě stránek, odkaz Kontakt <<http://dielektrika.kvalitne.cz/kontakt.html>> uvádí elektronickou adresu, na které je možné diskutovat s autorem stránek.

## Úvod



Dielektrika jsou velice širokou skupinou materiálů. Jejich využití v elektronice a dalších oborech je obrovské. Přestože se jedná o důležité a běžné látky, výuka vlastností dielektrik na základních a středních školách pokrývá pouze několik málo vyučovacích hodin. Tyto stránky jsou rozděleny do několika částí. V teoretické části je podán výklad vlastností dielektrik, v části didaktické jsou uvedeny některé experimenty demonstrující vlastnosti dielektrik. Cílem stránek je shrnutí problematiky do celku, který usnadní výuku na základních a středních školách.

Základní veličiny a vztahy potřebné pro pochopení fyzikálního popisu dielektrik jsou uvedeny na následující stránce:

### Základní veličiny a vztahy

Stránky jsou rozšířeny o kapitoly z obecné psychologie a didaktiky. Tyto kapitoly obsahují elementární zákonitosti z jednotlivých oborů aplikované na výuku problematiky dielektrik. Pro jejich obecnou platnost je třeba tyto zákonitosti respektovat při výuce jakéhokoli tématu.

### Kapitoly z obecné psychologie

### Kapitoly z didaktiky

## Teorie dielektrik

Dielektrikum ve statickém elektrickém poli

Dielektrikum v proměnném elektrickém poli

Mechanismy polarizace

Obecné teoremy

Termodielektrický efekt

Elektrety

## Tabulky

## Didaktika problematiky

Historie výzkumu dielektrik

Praktická aplikace vlastností dielektrik

Pokusy s dielektriky

Obr. 32 – IV – Část hlavní stránky webové prezentace

V pravé části hlavní stránky jsou umístěny odkazy na jednotlivé podkapitoly. Pro snazší orientaci je stejný systém odkazů na jednotlivé kapitoly a podkapitoly zachován na všech stránkách, které jsou obsahem webové prezentace.

### 4.9.2 Jednotlivé stránky webové prezentace

Teoretický popis dielektrik je rozdělen do několika částí. Webová prezentace začíná popisem dielektrika ve stacionárním elektromagnetickém poli <http://dielektrika.kvalitne.cz/dielvestatpoli.html>, po kterém následuje popis dielektrika v nestacionárním elektromagnetickém poli <http://dielektrika.kvalitne.cz/dielvprompoli.html>. Následuje stránka vysvětlující mechanismy polarizace <http://dielektrika.kvalitne.cz/mechpolar.html> a stránka zaměřená na obecně platné teoremy <http://dielektrika.kvalitne.cz/obecteor.html>, ve které jsou uvedeny významné vztahy popisující dielektrikum (Kirkwoodův vzorec, Onsagerova formule apod.). Závěrečnými podkapitolami prezentace jsou stránky Termodielektrický jev <http://dielektrika.kvalitne.cz/termojev.html> a Elektrety <http://dielektrika.kvalitne.cz/elektrety.html>. Následující stránka <http://dielektrika.kvalitne.cz/tabulky.html> je věnována tabulkám uvádějících hodnoty některých důležitých veličin a konstant.



Jedním z nejdůležitějších parametrů dielektrika je jeho dielektrická konstanta (starší název pro relativní permitivitu). Tato konstanta je vlastně lineárním koeficientem úměrnosti mezi elektrickou indukcí a intenzitou elektrického pole. V běžných materiálech (voda, etanol, benzen,...) je dielektrická konstanta jediné číslo, v materiálech složitých musíme použít tenzor.

Není-li uvedeno jinak, platí hodnota statické dielektrické konstanty pro teplotu 20°C.

## Statická dielektrická konstanta vybraných materiálů - pevné látky

| Látka      | Dielektrická konstanta | Látka        | Dielektrická konstanta |
|------------|------------------------|--------------|------------------------|
| bakelit    | 4,8 - 5,3              | polypropylén | 1,5                    |
| ebonit     | 2,5 - 3,5              | polyamid     | 2,5 - 2,6              |
| mramor     | 8,5                    | selen        | 6,1 - 7,4              |
| parafin    | 2 - 2,2                | hedvábí      | 2,5 - 3,5              |
| polystyrén | 2,3 - 2,5              | škrob        | 3 - 5                  |
| PVC        | 3,4 - 4                | TNT          | 22                     |

## Teorie dielektrik

Dielektrikum ve statickém elektrickém poli

Dielektrikum v proměnném elektrickém poli

Mechanismy polarizace

Obečné teorémy

Termodielektrický efekt

Elektraty

## Tabulky

## Didaktika problematiky

Historie výzkumu dielektrik

Praktická aplikace vlastností dielektrik

Pokusy s dielektriky

Obr. 33 – IV – Část stránky Tabulky ve webové prezentaci

Didaktické aspekty výuky problematiky dielektrik jsou obsahem další části webové prezentace. Historie výzkumu dielektrik je rozepsána v odkazu <http://dielektrika.kvalitne.cz/historie.html> a v odkazu Praktická aplikace vlastností dielektrik <http://dielektrika.kvalitne.cz/praktaplik.html> je uveden popis kondenzátorů a dielektrik používaných v technické praxi. Následuje odkaz Řešené příklady <http://dielektrika.kvalitne.cz/respriklady.html>, ve kterém je uveden například výpočet kapacity kondenzátoru se zasunutou vodivou deskou mezi elektrodami. Poslední podkapitolou je pak odkaz Další úvahy <http://dielektrika.kvalitne.cz/dalsiuvahy.html>. Na této stránce je několik dalších odkazů, které obsahují další zajímavé informace vztahující se k dielektrikám. Je zde uveden kvantově – mechanický pohled na elektrickou susceptibilitu, výsledky měření dielektrické konstanty roztoků, popis flexoelektrického jevu a výsledky měření dielektrické konstanty ledu. Účelem této podkapitoly je seznámit čtenáře s méně známými vztahy a jevy spojenými s dielektriky. Výsledky měření a způsob realizace měření pak může být inspirací pro laboratorní úlohy a jejich využití ve výuce.

Obsah webové prezentace je z velké části tvořen výsledky měření autora. Stránka o termodielektrickém jevu je zcela ojedinělou stránkou. Teoretický popis tohoto jevu nebyl

dosud k dispozici v českém jazyce. Zahraniční zdroje rovněž neobsahují ucelený popis kromě placených odkazů.

Pro usnadnění hledání informací o méně známých jevech spojenými s dielektrickými materiály jsem dále vytvořil a případně rozšířil několik hesel v internetové encyklopedii Wikipedia. Jedná se o hesla „termodielektrický jev“ a „flexoelektrický jev“, tato hesla jsou nově vytvořena. Dále jsem rozšířil hesla „dielektrikum“, „elektret“ a „relativní permitivita“. Jednotlivá hesla jsem doplnil o externí odkaz vedoucí na webovou prezentaci <http://dielektrika.kvalitne.cz/>.

## 5 Závěr

Cílem mé práce bylo shrnutí současných poznatků nauky o dielektrikách. Poukázal jsem na opomíjení této problematiky, přestože se jedná o téma dobře teoreticky popsané. Před vlastním popisem základních vlastností dielektrik jsem stručně popsal didaktické aspekty, které by neměly být během výuky zanedbány. Zmínil jsem obecně platné didaktické zásady a zároveň jsem tyto zásady aplikoval na výklad zaměřený na dielektrika. Z obecně platných didaktických zásad jsem se zaměřil na taxonomii výukových cílů (kognitivních, afektivních a psychomotorických), klasifikaci výukových metod a taxonomii učebních úloh. Dále jsem uvedl revidovanou verzi Bloomovy taxonomie, která svým moderním pojetím lépe odpovídá současnému pojetí výuky. Kromě aspektů didaktických hrají zásadní roli ve vyučovacím procesu aspekty psychologické. Tuto problematiku jsem zpracoval především z hlediska poznávacích procesů, jejichž pochopení je podstatné pro efektivní výuku. Jednotlivé kapitoly zabývající se kognitivními procesy jsem doplnil stručným pojednáním o významu těchto procesů ve výuce fyziky.

V části zaměřené na teoretický popis dielektrik jsem se zaměřil na měření závislosti dielektrické konstanty kompozitních dielektrik na frekvenci a teplotě. Z výsledků je zřejmé, že se jedná o materiály často překvapujících vlastností. Jejich výroba není přitom náročná a vstupní suroviny jsou dostupné a levné. Zopakování těchto pokusů na základních či středních školách by mělo být bezproblémové. Právě absence souboru pokusů s dielektriky je vážným nedostatkem, který vede k opomíjení tohoto tématu ve výuce. Proto jsem dále uvedl výsledky měření závislosti dielektrické konstanty na koncentraci roztoků a poukázal na možnost mezipředmětové vazby tohoto experimentu s chemií. Tento experiment lze rovněž dále rozšířit tak, aby došlo k rozvoji kritického myšlení studentů. Zajímavý experiment je měření dielektrické konstanty ledu, který, může uvést výklad zaměřený na strukturu pevných látek. Významnou kapitolou je pak experimentální ověření termodielektrického jevu. Tato kapitola poukazuje na dosud velmi málo známou vlastnost dielektrik. Realizace tohoto experimentu ve výuce může být motivačním prvkem. Snažil jsem se pečlivě popsat aparaturu a komentovat výsledky měření, protože tento jev není běžně demonstrován.

Téměř celá práce je publikována formou webové prezentace, která je rozšířena o kapitoly z mého diplomového úkolu. Jedná se tedy o velmi rozsáhlý soubor informací o dielektrických materiálech, který dosud neměl obdobu. Webová prezentace je doplněna prezentacemi multimediálními, které výrazně zefektivňují výuku. Multimediální prezentace jsou volně ke stažení a mohou být pozměňovány či doplňovány samotnými vyučujícími.

Obsahem webové prezentace je i stránka zabývající se termodielektrickým jevem, která je svého druhu jediná v českém jazyce.

## 6 Použitá literatura

- ANGOT, A.: *Užitá matematika pro elektrotechnické inženýry*. Praha: SNTL, 1972.
- BLÁHA, A.: *Mechanika plynů a elektrických výbojů*. 1.vyd. Praha: Elektrotechnický svaz československý, 1949. 236 s.
- BRDIČKA, B.: (2008) *Bloomova taxonomie v digitálním světě*. Učitel'ský spomocník [online]. [30-07-2009]. Dostupný z WWW:  
<[http://www.spomocnik.cz/index.php?id\\_document=2230](http://www.spomocnik.cz/index.php?id_document=2230)>.
- BROŽ, J. a kol.: *Základy fyzikálních měření, II. díl*. Praha: SPN, 1974.
- BROŽ, J., ROSKOVEC, V., VALOUCH, M.: *Fyzikální a matematické tabulky*. Praha: SNTL, 1980. 308 s.
- BRUNER, J.S.: *Vzdělávací proces*. Praha: SPN, 1965.
- ČÁP, J.: *Psychologie pro učitele*. 1. vyd. Praha: SPN, 1980. 381 s.
- FONTANA, D.: *Psychologie pro školní praxi*. 2. vyd. Praha: Portál, 2003. 384 s. ISBN 80-7178-626-8
- FRANĚK, M.: (2009) *Priming aktivující sociální stereotypy a výkon v mentálním testu*. E-psychologie [online]. 3(2), 1-9 [30-07-2009]. Dostupný z WWW:  
<<http://e-psychologie.eu/pdf/franek.pdf>>. ISSN 1802-8853.
- GAGNÉ, R.M.: *Podmínky učení*. Praha: SPN, 1975. 287 s.
- GROSS, B.: *Theory of Thermoelectric effect*. Physical Review 94, strana 1545-1551, 1954.
- HASSDENTEUFEL, J.: *Izolanty*. 1.vyd. Praha: SNTL, 1962. 192 s.
- HAVEL, V.: *Úvod do teorie elektromagnetického pole*. Plzeň: Pedagogická fakulta, 1984.
- HAVEL, V., KEPKA J.: *Sbírka úloh z fyziky II*. Plzeň: Pedagogická fakulta, 1988.
- HEAVISIDE, O.: *Electrical papers*. 2. vyd. American Mathematical Society (United States), 2003, 587s. ISBN 0-8218-3456-7
- HOBBS, E.M., JHON, S.M., EYRING, H.: The dielectric constant of liquid water and various forms of ice according to significant structure theory. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 1966, roč. 56, č. 1, s. 31-38 ISSN 1091-6490
- KALHOUST, Z., OBST, O.: *Školní didaktika*. 1. vyd. Praha: Portál, 2002. 448 s. ISBN 80-7178-253-X
- KEJ: *Tabulky fyzikálních a chemických konstant*. Moskva, 1962.
- KIKOINA: *Tabulky fyzikálních veličin*. Moskva, 1976.
- KITTEL, CH.: *Úvod do fyziky pevných látek*. Praha: Academia, 1985.
- LANDOLT, BÖRNSTEIN: *Physikalisch - chemische Tabellen*. 2. dodatkový svazek, 2. část, 5.

- vydání, Berlín: nakladatelství Julius Springer, 1931.
- LANDOLT, BÖRNSTEIN: *Physikalisch - chemische Tabellen*. 2. svazek, 5. vydání, Berlín: nakladatelství Julius Springer, 1923.
- MCCLELLAN, A.L.: *Tables of Experimental Dipole Moments*, San Francisco: W.H. Freeman and Co, 1963. 713 s. ISBN 07-1670-122-7
- MENTLÍK, V.: *Dielektrické prvky a systémy*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. 240 s. ISBN 80-7300-189-6
- MIE, G.: *Lehrbuch der Elektrizität und des Magnetismus*. Stuttgart: nakladatelství Ferdinand Enke, 1910.
- MILLER - POUILLETS: *Lehrbuch der Physik*. 11. vydání, 3. díl, Braunschweig: Friedr. Vieweg&Sohn, 1933.
- MOHR, P.J., TAYLOR, B.N., NEWEL, D.B. CODATA recommended values of the fundamental physical constants: 2006. *Reviews of Modern Physics*, 2008, roč. 80, č. 2, s. 708 ISSN 1539-0756
- NAKONEČNÝ, M.: *Psychologie osobnosti*. 2.vyd. Praha: Academia, 2003. 340 s. ISBN 80-200-1289-3
- NAKONEČNÝ, M.: *Úvod do psychologie*. 1.vyd. Praha: Academia, 2003. 508s. ISBN 80-200-0993-0
- ONSAGER, L.: *The Collected Works of Lars Onsager (with Commentary)*. Singapur: World Scientific Publishing, 1996. 1075 s. ISBN 978-981-02-2563-6
- PAVLOVSKÝ, P.: *Soudní psychiatrie a psychologie*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2001. 184 s. ISBN 80-247-0181-2
- PETRENKO, V.F., WHITWORTH, R.W.: *Physics of Ice*. Oxford: Oxford University Press, 2002. 392 s. ISBN 0-19-851895-1
- PROKŠOVÁ, J.: *Experimentální studium interakce mechanických a dielektrických jevů na kaučukovitých materiálech - flexoelektrický jev*. (Diplomová práce) Praha: MFF UK, 1986. 64 s.
- RAUNER, K.: *Elektronika (fyzikální a analogová část)*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2003. ISBN 80-7082-775-0
- ROSENHOLTZ, L.J., SMITH, T.D.: The dielectric constant of mineral powders. *American Mineralogist*, 1936, roč. 21, č. 2, s. 115-120 ISSN 0003-004X
- ŘÍČAN, P.: *Psychologie osobnost*. 4. vyd. Bratislava: Psychodiagnostické a didaktické testy, n.p., 1982. 193 s.
- ŘÍČAN, P.: *Psychologie*. 2.vyd. Praha: Portál, 2008. 296 s. ISBN 978-80-7367-406-9

SVOBODA, E., KOLÁŘOVÁ, R.: *Didaktika fyziky základní a střední školy*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2006. 232 s. ISBN 80-246-1181-3

THOMPSON: *Elektricität und magnetismus*. Tübingen: nakladatelství H. Laupp'sche, 1897.

TOLL, J.S.: *Causality and the Dispersion Relation: Logical Foundation*. Physical Review, číslo 104, strana 1760 - 1770, 1956.

VAN VLECK, J.H.: *The Theory of Electric and Magnetic Susceptibilities*. Oxford: Clarendon Press, 1932. 404 s.

VYGOTSKIJ, L.S.: *Psychologie myšlení a řeči*. 1. vyd. Praha: Portál, 2004. 136 s. ISBN 80-7178-943-7

WILSON, L.O.: (2006) *Beyond Bloom - A new Version of the Cognitive Taxonomy*. Curriculum Pages [online]. [30-07-2009]. Dostupný z WWW:  
<<http://www.uwsp.edu/education/lwilson/curric/newtaxonomy.htm>>.

### **Použité internetové adresy**

<<http://astronuklfyzika.cz/Gravitace1-1.htm>>

<<http://www.goncb.cz/fyzika2/pokusy/pokusy.htm>>

<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Kondenz%C3%A1tor>>

<[http://www.clippercontrols.com/info/dielectric\\_constants.html](http://www.clippercontrols.com/info/dielectric_constants.html)>

<[http://people.seas.harvard.edu/~jones/ap216/lectures/ls\\_3/ls3\\_u5A/ls3\\_unit\\_5A.html](http://people.seas.harvard.edu/~jones/ap216/lectures/ls_3/ls3_u5A/ls3_unit_5A.html)>

## Příloha A – Kramersovy – Kronigovy disperzní relace

Kramersovy – Kronigovy disperzní relace jsou matematické vztahy, které spojují reálnou a imaginární část jakékoliv komplexní funkce analytické v horní či dolní polorovině Gaussovy roviny. Tyto relace se často používají ke spojení reálné a imaginární části odezвовých funkcí fyzikálních systémů, kde závislost na předchozích hodnotách (kauzalita systému) zaručuje splnění podmínky analytičnosti.

Jsou pojmenovány na počest Ralpha Kroniga a Hendrika A. Kramerse.

Pro funkci  $x(\omega) = x_1(\omega) + i \cdot x_2(\omega)$  analytickou v horní polorovině a konvergující k nule při  $|\omega| \rightarrow \infty$  jsou Kramersovy – Kronigovy disperzní relace dány vztahy:

$$\begin{aligned}x_1(\omega) &= \frac{1}{\pi} PV \int_{-\infty}^{\infty} d\omega' \frac{x_2(\omega')}{\omega' - \omega} \\x_2(\omega) &= -\frac{1}{\pi} PV \int_{-\infty}^{\infty} d\omega' \frac{x_1(\omega')}{\omega' - \omega},\end{aligned}\tag{1 - A}$$

kde označení  $PV$  znamená takzvanou Cauchyho hlavní hodnotu (někdy též pouze hlavní hodnotu integrálu)  $\omega'$  je integrační proměnná. Je zřejmé, že reálná a imaginární část funkce nejsou nezávislé. Celou funkci lze zrekonstruovat, je-li známa pouze jedna část funkce.

Odvození začíná aplikací teorie reziduí při integraci v komplexním oboru. Mějme funkci  $x(\omega)$ , která je analytická v horní polorovině, a uvažujme integrál:

$$\oint \frac{x(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega' = 0\tag{2 - A}$$

Bod, v jehož okolí lze analytickou funkci rozvinout v Taylorovu řadu, se nazývá *regulární*. Bod, který není *regulární*, se nazývá *singulární*. Pokud uvažujeme funkci  $f(z)$  jako holomorfní, pak *póly* jsou izolované singulární body, v jejichž okolí funkce  $f(z)$  zůstává jednoznačná a jež jsou regulární pro funkci  $\frac{1}{f(z)}$ .

Integrační cesta uzavírá tento celek: horní polorovina pokračující do nekonečna, reálná osa a oblouk (půlkruh) nad pólem  $\omega = \omega'$ . Oblouk je vedený tak, aby v oblasti uvnitř tohoto oblouku (ve vzdálenosti od středu oblouku menší než poloměr oblouku) nezůstal žádný pól. Rozložíme integrál na tři segmenty. Segment rostoucí do nekonečna zmizí v okamžiku, kdy



budeme předpokládat  $|\omega| \rightarrow \infty$ . Zbývají tak pouze dva segmenty – reálná osa a půlkruh nad pólem  $\omega = \omega'$ . Pak platí vztah:

$$PV \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega' - i\pi x(\omega) = 0 \quad (3 - III)$$

Po upravení se dostáváme ke kompaktní formě Kramersových – Kronigových relací:

$$x(\omega) = \frac{1}{i\pi} PV \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega' \quad (4 - III)$$

## 7 Abstract

The main goal of my theses is to summarize current knowledge about properties of dielectrics and to find new experiments with this interesting group of materials. Dielectrics are often use for technical purposes. We can find dielectrics in our vicinity. It is important to recognize these materials because of significant qualities we can observe. These materials are also very important for our common life (water, paper, acryl sheet etc.). Nowadays there are only a few experiments with dielectrics at basic or high school. I would like to find new experiments and new dielectric materials. I decided to produce composite dielectrics.

These dielectrics are two-part composite materials. As a dielectric matrix I use colourless varnish. Second part of this material is metal (chromium, zinc or iron.). I made cylindrical samples of these composite materials and then I made a measurement of frequency dependency of dielectric constant. This measurement was made for frequencies from 50 kHz to 50 MHz. I also made a measurement of temperature dependency of dielectric constant (chromium sample and colourless varnish). I boiled silicon oil with sample and made measurement of dielectric constant for various temperatures. This measurement was made for temperatures from 5°C to 130°C.

The partial goal is to demonstrate a thermodielectric effect. Costa Ribeiro, a Brazilian physicist, discovered in 1944 that solidification and melting of some dielectrics accompanied by charge separation. This effect is also known as Costa Ribeiro effect. He found that the phenomenon is observed only if the phase change proceeds in an orderly fashion, that is, if a definite phase boundary (interface) exists between the solid and liquid phase. Costa Ribeiro concluded that the effect was a general one: Production of currents and charge separation in dielectrics during phase changes. A satisfactory mechanism of the thermodielectric effect has not yet been given. Effect was measured by many researches – Bernardo Gross, Armando Dias Tavares, Sergio Mascarenhas. In my theses I would like to publish results of the thermodielectric effect measurement. As a dielectric material I used paraffin.

The next partial goal is to compose web pages which can be used in educational process. The web pages are divided to theoretical part, didactic part and experimental part. In theoretical part we can find important formulas and specification of properties of dielectric materials. Didactic part describes history of research and technical applications of dielectrics. The results of thermodielectric effect measurement are inserted in experimental part. The web pages are extended with PowerPoint presentations. These presentations can be used in educational process.