

## 13. KAPITOLA

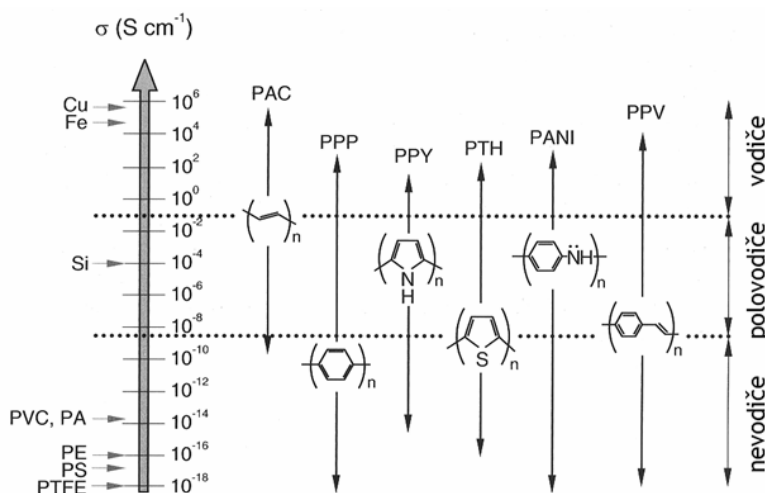
### ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI

Polymerní materiály se, narozdíl například od kovů, obecně považují za elektricky nevodivé. Polymery mají valenční elektrony vázané v kovalentních vazbách atomů a působením elektrického pole mohou pouze v omezené míře naorientovat své dipóly a v důsledku toho vykazovat elektrickou indukci. Chovají se tedy jako dielektrika vykazující permitivitu charakterizovanou dielektrickou konstantou.

Molekulární orientace polymerů ve střídavém poli není schopna sledovat změny elektrického pole okamžitě, ale dochází k fázovému zpoždění (ztrátový činitel). Fázové zpoždění Toto je silně ovlivněno strukturou konkrétního polymeru, čehož lze využít při sledování chemické degradace, vytvrzování, vulkanizaci a dalších procesech.

Izolačních vlastností polymerů se s výhodou používá v elektrotechnice právě jako izolantů, například v kabelářství (PVC, PE a další). V tomto případě se však nesmí zapomenou, že nevodivé jsou pouze čisté polymery. Různá plniva, zbytky katalyzátorů, případně vlhkost mohou naopak zapříčinit vysokou vodivost plastu.

V posledních letech se pozornost zaměřuje také na speciální, takzvané vodivé polymery (polyanilin, polypyrol), jejichž vodivost je dána jejich strukturou (konjugovaný systém) a přítomností nosičů nábojů. Tyto materiály se s výhodou používají čím dál častěji v mikroelektronice, kde vytlačují tradiční křemíkového polovodiče (obrázek 13.1).



Obrázek 13.1: Srovnání vodivosti konstrukčních a vodivých polymerů.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Odolnost proti elektrickému oblouku

Odolnost proti elektrickému oblouku daného materiálu vyjadřuje jeho schopnost vzdorovat účinkům elektrického oblouku vzniklého za provozu přístroje, v němž materiál slouží jako izolant.

V principu se sleduje vedení proudu elektrickým obloukem vytvořeným mezi dvěma uhlíkovými elektrodami, které leží na zkušební vzorku a posouzení, jak se zkoušený materiál účastní trvale či přechodně na vedení proudu a jak se v důsledku toho změní. Vedením proudu po povrchu izolantu světelný oblouk zmizí a nahradí ho vodivý a žhavý povrch izolantu. Po ochlazení se elektrody zpětně přiloží na vypálený můstek a zjišťuje se jeho vodivost. Elektrody jsou připojeny na zdroj 220 V, přičemž do obvodu je zařazen odpor 20  $\Omega$ .

Jako zkušební tělesa se používají destičky anebo zkušební tyčinky (15 × 10 × 120 mm). Zkušební těleso se položí na plochu a elektrody se postaví tak, aby se dotýkaly horní plochy a sebe navzájem. Jakmile dojde k vytvoření oblouku, tak se jedna elektroda odsouvá definovanou rychlostí (1 mm s<sup>-1</sup>), dokud oblouk nepohasne. Po ochladnutí se změří tato vzdálenost a vyzkouší se vodivost můstku. Podle účinku elektrického oblouku se rozlišuje 6 stupňů odolnosti proti oblouku.

## Povrchový izolační odpor

Povrchový izolační odpor materiálu je definovaný jak poměr napětí (rozdíl potenciálů 1 000 V) mezi dvěma kruhovými elektrodami (používají se grafitové, rtuťové, kovové) na povrchu zkušebního tělesa a proudu protékajícímu mezi nimi po jeho povrchu (obrázek 13.2). Procházející proud se měří buďto přímo (metoda přímého čtení) anebo se jim definovanou dobu nabíjí kondenzátor a následně se měří proud, kterým se kondenzátory vybíjí (metoda nabíjení kondenzátoru). Měrný povrchový odpor se potom vztahuje na 1 cm<sup>2</sup> plochy povrchu zkoušeného materiálu.

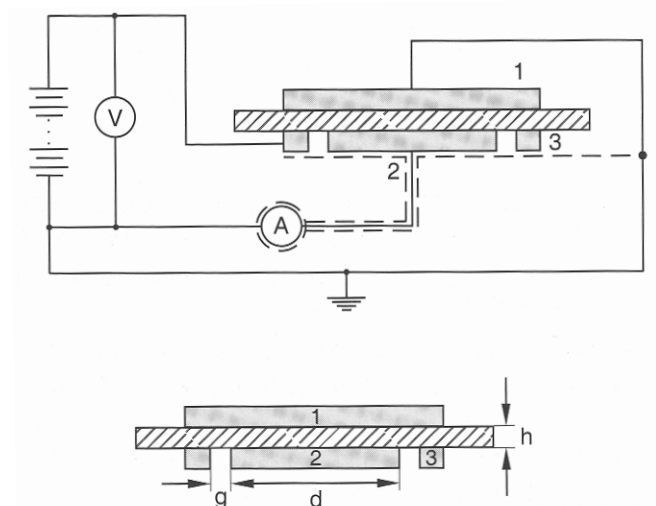
Problémem metody je oddělit proudy tekoucí po povrchu a skrz vzorek. Ten je však nepatrný a zanedbává se. Měří se tak, jako by proud tekł pouze po povrchu tělesa.

Tvar, velikost a způsob přípravy zkušebních těles je specifikován materiálovou normou (obvykle se používají destičky 100 × 100 × 3 mm anebo kolečka o průměru 120 × 3 mm).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obrázek 13.2: Princip měření povrchového odporu. Zemní (1) a měřící elektroda (2), ochrana elektroda (3), průměr měřící elektrody ( $d$ ), šířka ochranné štěrbiny ( $g$ ) a tloušťka vzorku ( $h$ ).

Povrchový izolační odpor stanovený metodou přímého čtení se počítá

$$R_s = \frac{U \cdot n}{C_D \cdot \alpha} \quad [\Omega]$$

$$\rho_s = R_s \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}} = \frac{U \cdot n \cdot 2\pi}{C_D \cdot \alpha \cdot \ln \frac{D}{d}} \quad [\Omega]$$

a pro metodu nabíjení kondenzátoru

$$R_s = \frac{U \cdot t \cdot n}{C_B \cdot \alpha} \quad [\Omega]$$

$$\rho_s = R_s \frac{2\pi}{\ln \frac{D}{d}} = \frac{U \cdot t \cdot n \cdot 2\pi}{C_B \cdot \alpha \cdot \ln \frac{D}{d}} \quad [\Omega]$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

kde

$R_s$  ... povrchový izolační odpor [ $\Omega$ ]

$\rho_s$  ... měrný povrchový izolační odpor [ $\Omega$ ]

$U$  ... napětí [V]

$n$  ... převodový součinitel bočnicku

$C_D$  ... dynamická konstanta galvanometru stanovená na daném obvodu [ $A\ mm^{-1}$ ]

$a$  ... údaj z galvanometru na stupnici [mm]

$D$  ... vnitřní průměr ochranné elektrody [mm]

$t$  ... doba nabíjení kondenzátoru [s]

$C_B$  ... balistická konstanta galvanometru stanovená na daném obvodu [ $A\ mm^{-1}$ ]

$\alpha$  ... údaj na stupnici galvanometru - největší výchylka zrcátka při vybíjení kondenzátoru [mm]

Pokud je vypočtený povrchový odpor vzorku menší než  $10\ M\Omega$ , je nezbytné nejprve odečíst hodnotu ochranného odporu (na horní měřící elektrodě).

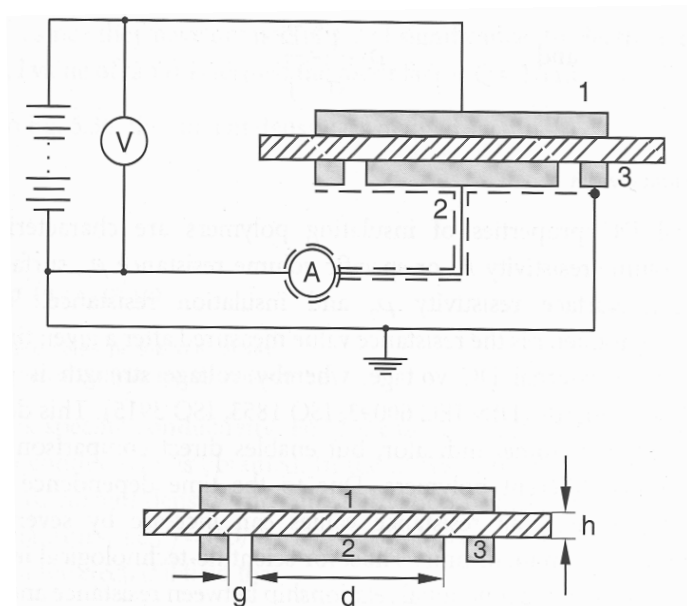
## Vnitřní izolační odpor

Izolační odpor materiálu se definuje jako poměr stejnosměrného napětí mezi elektrodami vloženými do zkušební tělesa nebo dotýkajících se jeho protilehlých ploch k celkovému proudu protékajícímu skrz i po povrchu zkušební tělesa (obrázek 13.3). Závisí na měrném vnitřním (průchodním) odporu i měrném povrchovém odporu materiálu, ale také tvaru elektrod.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obrázek 13.3: Princip měření vnitřního izolačního odporu. Zemnicí (1) a měřící elektroda (2), ochrana elektroda (3), průměr měřící elektrody ( $d$ ), šířka ochranné štěrby ( $g$ ) a tloušťka vzorku ( $h$ ).

Podstatou zkoušky je měření proudu protékajícího mezi zkušebními elektrodami na zkušebním tělese při rozdílu potenciálů 1 000 V na elektrodách spojených se zdrojem stejnosměrného proudu.

Odpor lze potom stanovit několika způsoby:

- srovnávací metodou podle kalibrovaného odporu
- přímým měřením proudu mezi elektrodami
- metodou nabíjení kondenzátoru

Tvar, velikost a způsob přípravy zkušebních těles je specifikován materiálovou normou (obvykle destičky  $100 \times 100 \times 3$  mm anebo kolečka o průměru  $120 \times 3$  mm, tyče  $15 \times 10 \times 120$  mm anebo hotové výrobky s rovnou plochou  $15 \times 120$  mm).

Vnitřní a měrný vnitřní odpor měřený srovnávací metodou se počítá

$$R_v = R_1 \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{S_1}{S_2} - R_1$$

pro kruhové elektrody

$$\rho_v = R_v \frac{A}{a} = R_1 \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{S_1}{S_2} - R_1 \cdot \frac{A}{a} \quad [\Omega \text{ cm}]$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vnitřní a měrný vnitřní odpor měřený přímou metodou se počítá

$$R_V = \frac{U \cdot n}{C_D \cdot \alpha} \quad [\Omega]$$

$$\rho_V = \frac{U \cdot n \cdot F}{C_D \cdot \alpha \cdot h} \quad [\Omega \text{ cm}]$$

Vnitřní a měrný vnitřní odpor měřený metodou nabíjení kondenzátoru se počítá

$$R_V = \frac{U \cdot t \cdot n}{C_B \cdot \alpha} \quad [\Omega]$$

$$\rho_V = \frac{U \cdot t \cdot n \cdot A}{C_B \cdot \alpha \cdot h} \quad [\Omega \text{ cm}]$$

kde

$\rho_V$  ... měrný vnitřní odpor  $[\Omega]$

$A$  ... plocha chráněné elektrody  $[\text{cm}^2]$

$R_V$  ... vnitřní odpor zkoušeného materiálu  $[\Omega]$

$R_1$  ... velikost kalibrovaného odporu  $[\Omega]$

$\alpha_1$  ... aritmetický střed výchylek galvanometru při zapojení zkušební tělesa

$\alpha_2$  ... aritmetický průměr výchylek galvanometru při zapojení kalibrovaného odporu

$S_1$  ... údaj bočníku při zapojení zkušební tělesa

$S_2$  ... údaj bočníku při zapojení kalibrovaného odporu

$h$  ... tloušťka zkušební desky  $[\text{cm}]$

$C_B$  ... balistická konstanta galvanometru stanovená na daném obvodu  $[\text{A mm}^{-1}]$

$C_D$  ... dynamická konstanta galvanometru stanovená na daném obvodu  $[\text{A mm}^{-1}]$

$U$  ... napětí  $[\text{V}]$

$n$  ... převodový součinitel bočníku

$t$  ... doba nabíjení kondenzátoru  $[\text{s}]$

$\alpha$  ... střední hodnota největších výchylek galvanometru - při vybíjení kondenzátoru  $[\text{mm}]$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem  
a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

## Ztrátový činitel $\operatorname{tg}\delta$ a dielektrická konstanta $\varepsilon$

Ztrátový úhel je tangens úhlu fázového posunu proudu oproti napětí kondenzátoru zkoušeného materiálu od  $90^\circ$ , to znamená fázového posunu proudu v kondenzátoru s ideálním bezztrátovým dielektrikem.

Dielektrická konstanta je poměr kapacity kondenzátoru se sledovaným materiálem (dielektrikem) ke kapacitě kondenzátoru se vzduchem. Obě tyto bezrozměrné hodnoty jsou mírou dielektrických ztrát kondenzátoru.

Podstatou zkoušky je vyrovnávání obvodu s kondenzátorem s dielektrikem (zkoušený materiál) s obvodem se srovnávacím kondenzátorem na Scheringově můstku měřícím se stejnou přesností.

Tvar, rozměry a přípravu zkušebních těles stanoví příslušná materiálová norma (obvykle destičky  $100 \times 100 \times 3$  mm anebo kolečka o průměru  $120 \times 3$  mm).

Ztrátový úhel se pak počítá

$$\operatorname{tg}\alpha = 2\pi f C_4 R_4 10^{-6}$$

kde

$\operatorname{tg}\delta$  ... ztrátový činitel

$f$  ... frekvence [Hz]

$C_4$  ... kapacita regulačního kondenzátoru [ $\mu\text{F}$ ]

$R_4$  ... odpor zapjatý paralelně s regulačním kondenzátorem [ $\Omega$ ]

Dielektrická konstanta se stanoví ze vztahu pro vyrovnaný můstek a z rozměrů elektrod

pro vyrovnaný můstek  $\frac{C_x}{C} = \frac{R_4}{R_3}$

dielektrická konstanta  $\varepsilon = \frac{C_x}{C_0}$ , tedy  $\varepsilon = \frac{C_x}{C_0} \frac{R_4}{R_3}$

kde

$\varepsilon$  ... dielektrická konstanta

$C_0$  ... kapacita srovnávacího kondenzátoru [ $\mu\text{F}$ ]

$C$  ... kapacita kondenzátoru se zkušebními elektrodami a vzduchem jako dielektrikem [ $\mu\text{F}$ ]

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$R_3$  ... odpor regulačního obvodu [ $\Omega$ ]

$R_4$  ... odpor zapjatý paralelně s regulačním kondenzátorem [ $\Omega$ ]

Pro vzduchový plochý kondenzátor s kruhovými elektrodami platí

$$C_0 = 0,06954 \frac{D^2}{t}$$

kde

$C_0$  ... kapacita vzduchového kondenzátoru s kruhovými elektrodami [ $\mu\text{F}$ ]

$D$  ... průměr měrné (chráněné) vrchní elektrody [cm]

$t$  ... tloušťka dielektrika [cm]

Pokud jsou hodnoty  $\text{tg } \delta$  větší než 0,1, tak se dielektrická konstanta při kruhových elektrodách spočítá podle vztahu (upraveno pro Scheringův můstek)

$$\varepsilon = \frac{14,4 \cdot t \cdot C \cdot R_4}{D^2 \cdot R (1 + \text{tg}^2 \delta)}$$

Podle typu můstku se vztah může lišit.

## Elektrická pevnost

Průrazové napětí je definováno jako polovina maximální hodnoty střídavého napětí, při kterém dojde k průrazu (efektivní hodnota). Samotná elektrická pevnost je potom podíl průrazového napětí a tloušťky daného materiálu.

Hodnota elektrické pevnosti je významně ovlivněna různými faktory (frekvencí, tvarem a dobou připojení napětí, parametry vzorku, vnějšími vlivy, rozměry a tepelnou vodivostí elektrod, a dalšími) a proto je nutné uvažovat vliv těchto faktorů a například srovnávací zkoušky provádět jen za přesně definovaných podmínek, což komplikuje srovnání výsledků při různých technikách měření. Obecně elektrická pevnost klesá s rostoucí tloušťkou zkušebních vzorků a dobou vystavení působení napětí. Vysoká elektrická pevnost materiálu může být při dlouhodobé aplikaci zásadně snížena v důsledku destrukčních procesů (například vlhkost).

Hlavní části zkušebního zařízení jsou transformátor, voltmetr a elektrody uzpůsobené pro zkoušení na vzduchu i v kapalinách. Napětí se plynule zvyšuje tak, aby došlo k průrazu mezi 10 s až 20 s

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



měření. Anebo lze napětí zvyšovat také skokově tak, že každých 20 s se zvýší o předepsanou hodnotu. Elektrická pevnost se pak stanoví jako hodnota nejvyššího napětí, při které vzorek vydrží po celých 20 s.

## Optické vlastnosti

Zkoušky optických vlastností mohou sloužit jako jedna z metod rozlišení různých materiálů, jak už bylo zmíněné v předchozích kapitolách. Vedle toho se však optické metody používají k hodnocení kvality výrobků anebo sledování vlastností a procesů. Tak například složení materiálu a jeho čistotu lze sledovat pomocí indexu lomu světla, propustnost světla je zase důležitý parametr v obalové průmyslu, a tak dále.

## Index lomu

Absolutní index lomu světla je definován jako poměr rychlosti světla ve vakuu  $v_0$  a ve sledovaném prostředí  $v$

$$N = \frac{v_0}{v}$$

Relativní index lomu ve dvou různých prostředích je dán poměrem jejich absolutních indexů

$$n_{12} = \frac{N_1}{N_2}$$

Měření se provádí pomocí spektrometrů anebo refraktometrů (Abbéův).

U opticky anizotropních vzorků (hodnota indexu lomu světla se liší podle místa odběru vzorku) je nezbytné provádět měření na více místech. U opticky izotropních vzorků lze zjednodušeně měřit zkušební těleso v kapalinách s různým indexem lomu. Po osvětlení monochromatickým světlem se vzorek stává neviditelným, pokud má stejný index lomu světla jako kapalina.

## Propustnost světla

Propustnost světla polymerním materiálem je ovlivňována jeho složením a strukturou. K poklesu intenzity dopadajícího světla v důsledku odrazu a absorpce dochází u průhledných materiálů. Pokles intenzity je popsán Lambert-Beerovým zákonem

**Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.**



**INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ**

$$I = I_0 e^{-\beta h}$$

kde

$\beta$  ... absorpční koeficient udávající množství intenzity světla absorbované na dráze 1 cm

$I$  ... intenzita paprsku po průchodu vzorek tloušťky  $h$  [cm]

Propustnost světla je tak funkcí tloušťky vzorku.

Vedle propustnosti se také definuje záporný logaritmus propustnosti - extinkce

$$E \frac{I_0}{I} = e^{-\beta h}$$

Jedná se o převrácenou hodnotu propustnosti, nebo také logaritmus opacity.

Pokles intenzity se měří srovnávací metodou proti standardu (destilovaná voda, folie, vzduch).

Svazek světelných paprsků se štěpí na dvě části, které se pomocí clon upraví na stejnou intenzitu.

Jedna část pak prochází zkoušeným materiálem a druhá standardem. Kompenzací rozdílu proudu fotonky obou svazků paprsku kalibrovaným potenciometrem se zjistí propustnost anebo extinkce.

Pro vzájemné srovnání jednotlivých polymerních materiálů se extinkce přepočítává na určitou tloušťku

$$E_x = E \frac{h'}{h}$$

kde

$E_x$  ... extinkce při srovnávací tloušťce

$E$  ... extinkce vzorku

$h'$  ... srovnávací tloušťka [mm]

$h$  ... tloušťka vzorku [mm]

Pomocí rozptylu světla lze jednoduše měřit propustnost tak, že se vzorek proměřuje ve dvou vzdálenostech od fotobuňky. Pokud je zkušební vzorek těsně u fotobuňky, tak veškeré propuštěné světlo je zachycené fotobuňkou (intenzita  $I_1$ ). Naopak když je vzorek od fotobuňky vzdálen, dopadají na ní jen paralelní světelné paprsky (intenzita  $I_2$ ). Rozptyl je definován jako rozdíl obou intenzit

**Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.**



**INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ**

$$r = \frac{(I_1 - I_2)}{I_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

Protože je rozptyl stejně jako propustnost či extinkce lineárně ovlivněn tloušťkou, provádí se korektury na jednotnou tloušťku vzorku

$$r' = r \frac{h'}{h}$$

kde

$r'$  ... rozptyl při tloušťce  $h'$

$r$  ... rozptyl při tloušťce  $h$

## Lesk

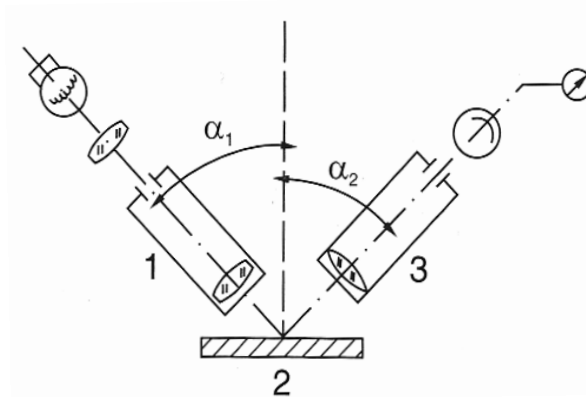
Na rozdíl od ostatních optických vlastností je hodnota lesku velice obtížně definovatelná, protože je vždy funkcí několika proměnných (úhel dopadu a odrazu světla, vlnová délka, polarizace světla, povrchové struktury, výrobní technologie či konečné úpravy, vlhkosti, stárnutí, teploty, a dalších). Pokud je vzorek anebo jeho vrchní vrstva průhledný, pak je lesk ovlivněn také reflexy spodních vrstev. Nerovnost povrchu potom zapříčiňuje, že kromě odrazu dochází k rozptylu, což vyžaduje měření intenzity i rozptylu odraženého světla pro každý úhel dopadu v závislosti na úhlu pozorování. V praxi se proto nesleduje maximální hodnota lesku, ale porovnává se reprodukovatelnost lesku pro jednotlivé technologické procesy. Úhel dopadu světla při měření není pevně stanoven, liší se podle druhu metody (obvykle 45 ° anebo 60 °) (obrázek 13.4).

Spektrální rozložení světla nehraje zásadní roli, avšak odražené světlo je do jisté míry polarizováno a tak je nezbytné měřit obě složky. Vliv povrchu se eliminuje měřením ve dvou směrech (zpravidla navzájem kolmých).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obrázek 13.4: Princip měření lesku. Osvětlení (1), vzorek (2) a měřicí přístroj (3).

Různým definicím lesku odpovídají i různé metody měření. Hardyho fotometr vychází z toho, že lesk je dán intenzitou odraženého světla uprostřed rozptylové koule s definovaným otvorem. Vnitřní stěny jsou matné s vysokou odrazivostí světelných paprsků ve viditelné oblasti. Měří se při konkrétní vlnové délce (odchyłka menší než 10 nm) a jsou výsledky v oblasti 400 nm až 700 nm.

Dvěma otvory vchází svazek paprsků – jedním pro měření odrazu a propustnosti a druhým, druhým vchází srovnávací světelné paprsky a odrážejí se od standardní odrazové plochy. Intenzita světelných paprsků se postupně proměřuje fotobuňkou.

Průsvitné laminátové prvky se sledují v komoře ozařování zářivkami a měřením propustnostmi, která nimi projde.

## Rozptyl

Rozptylem světla se myslí ta část světla, která se po průchodu vzorkem oddělí o více než  $2,5^\circ$ . Odražený světelný paprsek usměrněný kondenzátorem a clonou směřuje na zkušební vzorek. Podle jeho umístění ve fotometru se může měřit buďto propustnost anebo odraz (lesk). Rozptyl se měří tak, že se nejprve sleduje propustnost zkušební vzorku s pomocí standardu. Po odstranění standardu se změří světelné paprsky odchýlené o  $2,5^\circ$ .

## Stálost vybarvení

Stálost vybarvení je důležitou materiálovou vlastností z pohledu aplikace, zejména barvených polymerních materiálů. Jedná se o jejich odolnost hlavně vůči povětrnostním vlivům jako jsou světlo, déšť, teplota, a další. Nejdůležitější je však odolnost světelnému záření, proto se zkouší zejména odolnost proti světlu (xenonová výbojka) za přesně definovaných podmínek. Změny se potom srovnávají u exponovaných a neozářených zkušebních těles vizuálně či spektrometricky.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Zkušební vzorky upevněné v rotačních stojanech jsou umístěny ve zkušební komoře, kde jsou přes optické filtry (jeden propouští UV a druhý brání průchodu IČ) ozařovány světlem. V jejich blízkosti jsou také umístěny senzory snímající teplotu. Množství ozáření se sleduje a podle barevné změny se udává stupeň ozáření.

Vyhodnocení se provádí z grafické závislosti barevné změny na množství ozáření [ $\text{J m}^{-2}$ ] anebo době expozice [hod].

Srovnávají se vzorky exponované (část zakryta sloužící ke studium dalších vlivů než ozáření) a neexponované. Změny se vyhodnocují podle normované stupnice, jejichž číslo odpovídá stálosti vybarvení. Kromě barvy se tak hodnotí změna lesku, průhlednosti, povrchu, případná tvorba trhlinek, mramorování, pomerančový efekt anebo vykvétání, a další.

## Zkoušky opotřebení

Tyto zkoušky slouží k zjišťování odolnosti jednotlivých materiálů vůči opotřebení, kdy je pozornost zaměřena zejména na změnu povrchu a jeho úbytek v závislosti na podmínkách zkoušení. Zkoušky jsou rozšířené hlavně v gumárenském průmyslu (hodnocení běhounů pneumatik a dopravních pásů), ale i obuvnictví (podrážky), při hodnocení syntetických usní, galanterních koženek a dalších. Zkoušky umožňují v relativně krátké době posoudit reálnou životnost materiálů při reálné aplikaci.

Důležitá je správná volba zkoušky, protože každé opotřebení je důsledkem jiného namáhání.

Obvykle se zkouší tření materiálu po různě drsném až brusném povrchu, kde hlavní roli hrají síla tření  $F$ , tlaková síla  $N$  a součinitel smykové tření  $\mu$

$$F = \mu \cdot N$$

V některých výjimečných případech může být síla tření vztažena na jednotku třecí plochy  $A$  jako efektivní síla tření.

Podle charakteru uspořádání a stavu povrchu lze tření rozdělit na deformační a adhezní

$$F = F_d + F_a$$

Deformační tření souvisí s přetvářením nerovností na povrchu měkčí složky tvrdší třecí složkou. Adhezní tření je většinou menší než deformační a vyskytuje se při každém kontaktu povrchů dvou těles (působení nízkomolekulárních sil). Obecně tedy hladké povrchy a různé hodnoty zatížení podporují adhezní vlivy, naopak povrchové nerovnosti a hrubá třecí síla působící na těleso vyvolávají jeho deformaci.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



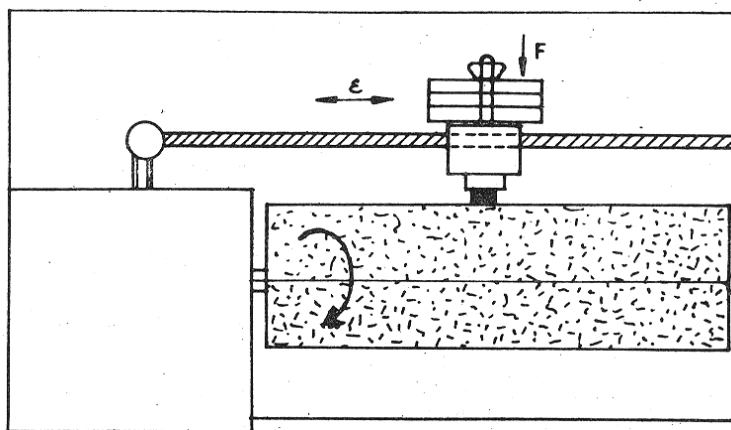
INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Při obroušování papírem, či brusnými kotouči dochází nejprve k odírání hladkého povrchu brusnými hranami a následně k vytváření paralelních drážek kolmých na směr obroušování, což simuluje reálné chování pneumatiky. Při dalším odírání se tyto výstupky postupně ztenčují, až se odtrhnou a zanechají hladký povrch. Na něm se zase vytvoří další výstupky, a tak to pokračuje dále.

Existuje celá řada laboratorních zkoušek, které se však liší principem odpovídajícím jednotlivým reálným podmínkám.

## Metoda Bussen-Schlobach

Metoda je definuje zkoušku odírání pryže a je založena na proměnlivé velikosti tření. Zkušební zařízení (obrázek 13.5) se představuje otáčející se válec opatřený brusným povlakem a jezdec, ve kterém je upevněn zkoušený vzorek tvaru válečku o průměru 16 mm a výšce 6 mm až 10 mm. Jezdec připevněný na kyvadle umožňuje podélný pohyb vzorku po rotujícím válci, stejně jako jeho otáčení ve vlastní ose. Váha jezdců je uzpůsobena tak, aby se na zkoušenou plochu zkušebního vzorku působila síla 1 kp.



Obrázek 13.5: Princip měření opotřebení metodou Bussen-Schlobach.

Zkušební vzorek se zasune do jezdců tak, aby jeho plocha byla kolmo k povrchu válce a vyčníval 2 mm až 2,5 mm. Takto nachystaný vzorek se nasadí na otáčející se válec. Zkušební těleso se posouvá po válci. Celková dráha vzorku po odíracím válci je 40 m (400 mm při jedné otáčce vzorku, která proběhne 100 ×).

Zkoušky probíhají na normalizovaném smirkovém papíru, jehož ostrost (po zkoušce či při výměně za nový) je nezbytné kontrolovat použitím standardizované vzorku pryže. Na zkušební dráze 40 m a při zatížení 1 kg by se měla ostrost (váhový úbytek) pohybovat v rozmezí 180 mg až 220 mg, ke které se vztahují hodnoty zkoušených materiálů.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Samotná zkouška probíhá tak, že se nejprve odírá standard, potom se změří tři zkušební tělesa a nakonec se provede srovnávací měření standardu. Hodnota opotřebení smirkového válce se počítá jako průměrná hodnota obou měření

$$V_S = \frac{(m_0 - m_1) \cdot 200}{\rho \cdot O_S} \quad [mm^3]$$

kde

$m_0 - m_1$  ... průměrný úbytek váhy vzorků standardu [g]

$\rho$  ... hustota standardu [ $g \text{ cm}^{-3}$ ]

$O_S$  ... ostrost standardu [mg]

Odolnost pryže proti odírání je podle normy odstupňována v rozsahu 20 % až 400 % (odolnost standardu 100 %) a počítá se podle vztahu

$$O_{BS} = \frac{V_S}{V} \cdot 100 \quad [\%]$$

Za pomoci této metody se dosahuje průměrných hodnot opotřebení na 1 m dráhy  $6 \text{ mm}^3$  pryže.

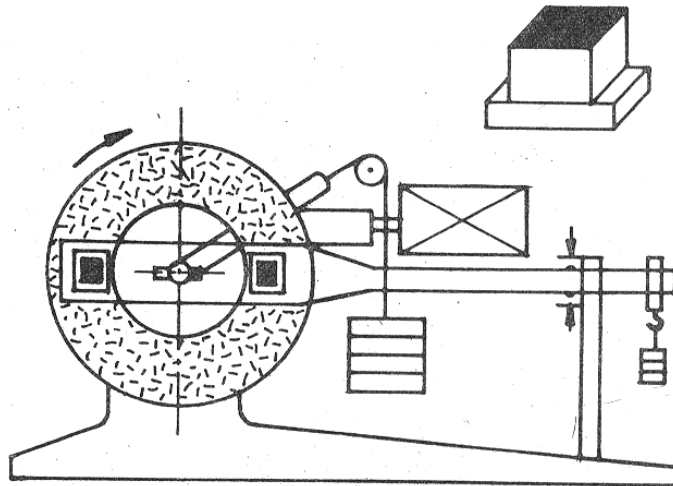
### Metoda du Pont-Graselli

Pro tuto metodu se používají zkušební tělesa mají tvar čtverce (20 mm, výšky 10 mm), která se sledují vždy ve dvojici. Připevňují se na páku přístroje, pomocí které jsou přitlačovány konstantním tlakem 0,045 MPa na odírací mezikruží (obrázek 13.6). To se pohybuje rychlostí  $37 \text{ ot. min}^{-1}$ . Měřit lze však také při konstantním tření.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



Obrázek 13.6: Princip obrušování metodou du Pont-Grasselli s konstantním tlakem.

Odbroušené kousky vzorku se během zkoušky odfoukávají a pro každý vzorek se používá nový odírací kotouč, čímž se zajišťuje neměnná ostrost kotouče.

Nejprve se přebrousí dvojice zkušebních těles srovnávacího materiálu a potom dvojice zkoušeného materiálu a nakonec zase dvojice standardu. Doba odírání se liší podle druhu zkoušeného vzorku. Čím odolnější typ, tím je doba odírání delší (3 mm anebo 5 min).

Pokud je známa hustota sledovaných těles, tak lze odolnost proti odírání spočítat podle vztahu

$$O_{DG} = \frac{V_s}{V} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde

$O_{DG}$  ... odolnost proti odírání [%]

$V_s$  ... průměrný objemový úbytek za hod vypočítaný ze dvou dvojic zkušebních těles standardu [ $\text{cm}^3$ ]

$V$  ... průměrný objemový úbytek za hod ze dvou dvojic zkušebních těles [ $\text{cm}^3$ ]

V opačném případě se výsledek zkoušky uvádí v objemovém úbytku zkoušeného materiálu za 1 hod

$$O_{DG} = \frac{m}{\rho} \cdot \frac{60}{t} \quad [\text{cm}^3 \text{ h}^{-1}]$$

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



kde

$m$  ... váhový úbytek za dobu  $t$  [g]

$\rho$  ... hustota [ $\text{g cm}^{-3}$ ]

Pomocí této metody se dosahuje průměrných hodnot obrušivosti na 1 m dráhy  $10 \text{ mm}^3$  pryže. Pokud měření probíhá při konstantním tření, vyhodnocení je obdobné.

Tyto zkoušky jsou vhodné zejména pro hodnocení běhounových směs, protože se podobají silničním zkouškám.

### **METODA AKRON-CROYDON**

Jako zkušební těleso se používají lisované duté kotouče (vnější průměr 64 mm, vnitřní 43,6 mm / tloušťka 12,7 mm). Zkušební těleso umístěné na hřídeli rotuje rychlostí  $250 \text{ ot. min}^{-1}$ . Pod úhlem  $15^\circ$  je na něj tlakem 0,28 MPa přitlačován karborundový kotouč.

Nejdříve se 2 000 ot. provede předbroušení, potom se při 500 ot. brousí srovnávací materiál, třikrát vzorek zkoušeného materiálu a nakonec opět srovnávací materiál.

Odolnost proti odírání se stanoví jako objemový úbytek za 1 000 ot. anebo se poměrná hodnota spočítá pomocí vzorce

$$O_{AC} = \frac{V_S}{V} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde

$O_{AC}$  ... odolnost proti odírání [%]

$V_S$  ... průměrný objemový úbytek za 500 ot. odíracího kotouče [ $\text{cm}^3$ ]

$V$  ... průměrný objemový úbytek zkušebních těles za 500 ot. odíracího kotouče [ $\text{cm}^3$ ]

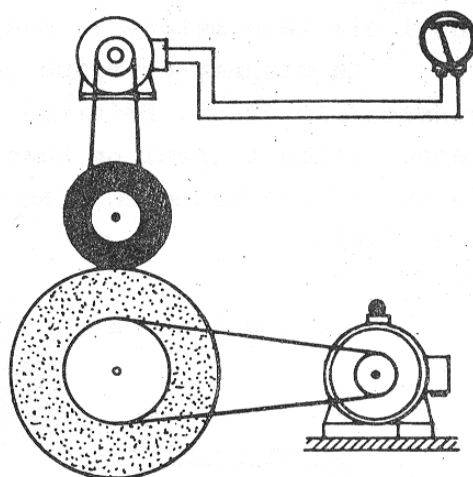
### **Metoda Dunlop-Lambourn**

Metoda i tvar zkušebních těles jsou podobná jako u předchozí metody. Lisovaný kotouč (64 mm / 43,6 mm, 10 mm) se otáčí rychlostí  $600 \text{ ot. min}^{-1}$  (obrázek 13.7). Na něj je přitlačován korundový kotouč, který se otáčí jinou rychlostí než zkoušený vzorek. V důsledku rozdílných rychlostí dochází k prokluzu, který má hodnotu 16 %. Brusný kotouč se během zkoušky čistí a ofoukává.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



**INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ**



Obrázek 13.7: Přístroj na zkoušení opotřebení metodou Dunlop-Lambourn.

Nejprve se testuje vzorek standardizované pryže, potom se provedou dvě stanovení zkoušeného materiálu a nakonec se zase měří standard. Vlastnímu zkoušení předchází předbrušování.

Odolnost proti odírání se udává jako objemový úbytek v  $\text{cm}^3$  na 1 km podle vztahu

$$O_{DL} = \frac{V_S}{V} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde

$O_{DL}$  ... odolnost proti odírání [%]

$V_S$  ... průměrný objemový úbytek standardu za 1 km [ $\text{cm}^3$ ]

$V$  ... průměrný objemový úbytek zkušebních těles za 1 km [ $\text{cm}^3$ ]

### Metoda Kovostav na opotřebení nánosů na textil

Zkouška slouží k opakované kombinaci namáhání zkušebního tělesa v ohybu a tlaku. Přitom se sleduje váhový úbytek nánosů. Tímto způsobem lze například měřit také adhezi nánosů k podkladu.

Zkušební těleso tvaru pásky ( $127 \times 50 \text{ mm}$ ) upevněné pevně ve svorkách je namáháno pohybem k sobě a od sebe  $80 \times$  za min při vzájemném oddalování o 40 mm. Přebytek délky vzorku je současně stlačován na horní třecí deskou volitelným závažím (350 p – 450 p).

Pro různé nánosované materiály je stanoven počet cyklů namáhání (obvykle 1 000). Po skončení zkoušky se stanovuje váhový úbytek vzorků a posuzují se i vzhledové a konstrukční změny.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ