

12. KAPITOLA

TEPELNÉ VLASTNOSTI

Tepelné vlastnosti materiálů jsou charakterizovány pomocí tepelných konstant jako měrné teplo, teplotní a tepelná vodivost, lineární a objemová roztažnost. U polymerních materiálů má teplota zásadní vliv na strukturní změny, čímž se mění zejména mechanické a deformační vlastnosti - tuhost, elasticita, houževnatost, pevnost, tažnost tvrdost, a další, ale ovlivňuje také optické a elektrické vlastnosti těchto materiálů. Neexistuje však jednoznačná definice odolnosti proti vyšším či nižším teplotám. Proto se vždy posuzuje pomocí smluvních zkoušek pouze z určitého úhlu pohledu.

Měrné teplo

Měrné teplo je definováno jako množství tepla, kterým se teplota definované hmoty zvýší o 1 K

$$c = \frac{1}{m} \cdot \frac{dQ}{dT} \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$$

Protože se jedná o teplotně závislou konstantu, je nezbytné vymežit teplotní oblast, pro kterou daná hodnota platí. Polymerní materiály, které udržují vlhkost, je důležité nejprve vysušit.

Měrné teplo se stanovuje pomocí směšovacího kalorimetru (Regnaultův, elektrický), kdy se vzorek zkoušeného materiálu, například granule, o dané hmotnosti vytemperuje v termostatu na danou teplotu a vloží se do kalorimetru o rozdílné teplotě. Kalorimetr obsahuje určité množství média (voda) o známém měrném teple. Vzorek předá část svého tepla kalorimetru a po vyrovnání teplot platí vztah určující měrné teplo

$$c = \frac{M \cdot c_k + V_k \cdot t_2 - t_0}{m \cdot t_1 - t_2} \left[\frac{kJ}{kg K} \right]$$

kde

c ... měrné teplo

M ... množství média v kalorimetru

V_k ... hladina media kalorimetru

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

t_0 ... teplota média v kalorimetru

t_1 ... teplota zkušební tělesa

t_2 ... ustálená teplota

Pro měření tepla ve větším teplotním rozsahu se využívá elektrický kalorimetr.

Součinitel teplotní vodivosti

Polymerní materiály jsou obecně tepelně nevodivé. Nicméně stanovení teplotní vodivosti lze využít k jejich vzájemnému srovnání i s ohledem na jejich zamýšlené aplikace.

Součinitel teplotní vodivosti udává rychlost vyrovnání teplotního rozdílu na dvou protilehlých stěnách krychle o straně 1 m. Je definován poměrem tepelné vodivosti k měrnému teple vztáženému na jednotku objemu

$$a = \frac{\lambda}{c_p \cdot \rho} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

kde

λ ... součinitel tepelné vodivosti při ustálených tepelných poměrech

ρ ... hustota měřeného vzorku

c_p ... střední měrné teplo látky při konstantním tlaku

Teplotní vodivost lze kromě toho výpočtu získat měřením na Pykov-Stahlanově zkušebním přístroji, kdy se sleduje čas, za který se na jedné desce o teplotě 100 °C projeví rozdílná teplota druhé desky (například 50 °C), mezi kterými je umístěn zkušební vzorek). K měření se používají se zkušební tělesa o průměru 50 mm a tloušťce 7 – 10 mm.

$$a = K \cdot \frac{h}{t} \left[\frac{m^2}{s} \right]$$

kde

K ... konstanta přístroje

h ... tloušťka destičky

t ... čas

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Stanovení se provádí na nejméně 5 zkušebních vzorcích, ze kterých se vypočítá průměrná hodnota. Tato hodnota je potom střední teplotní vodivostí v zkoušeného materiálu v teplotním rozsahu 20 °C a 100 °C.

Měrná tepelná vodivost

Měrná tepelná vodivost je hustota tepelného toku po dělení gradientem teploty

$$\lambda = \frac{q}{\frac{dT}{dl}}$$

Hustota ustáleného a stejnorodého tepelného toku je množství tepla prošlého za jednotkový čas jednotkovou plochou kolmou ke směru toku

$$q = \frac{Q}{A \cdot t}$$

Gradient teploty je pokles teploty na malé délce ve směru tepelného toku na jednotku tloušťky. Pro určitou tloušťku desky je součinitel tepelné vodivosti definován vztahem

$$\lambda = \frac{Q}{A \cdot t} \cdot \frac{dh}{dT} \quad \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

Součinitel tepelné vodivosti je tedy množství tepla procházejícího zkoušenou deskou jednotkové plochy a tloušťky za 1 s při teplotním gradientu 1 K m⁻¹.

Dalším způsobem je měření zkušebního tělesa mezi dvěma temperovanými deskami. Při ustáleném stavu teplot obou desek, kdy horní deska je vytemperovaná na teplotu o 5 °C až 10 °C vyšší než dolní, se měří průtok tepla zkušebním tělesem o známé tloušťce.

K měření se používají rovné, hladké a planparalelní kruhová zkušební tělesa o průměru větším než je průměr měrné desky.

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Důležité je zajistit dokonalý kontakt mezi vzorkem a deskami (lze použít inertní kapalinu). Po dosažení ustáleného stavu se odečítají hodnoty elektrického příkonu a teploměřů obou desek přístroje.

Hustota tepelného toku je dána

$$q = K \cdot \frac{N}{t} \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

kde

K ... konstanta přístroje odpovídající jednotlivým stupňům příkonů topení

N ... spotřeba elektrické energie [W h]

t ... čas

Tepelná vodivost λ se počítá

$$\lambda = \frac{q \cdot h}{\Delta t - q \cdot k} \left[\frac{W}{m \cdot K} \right]$$

kde

q ... hustota tepelného toku

h ... průměrná tloušťka zkušebního tělesa

Δt ... teplotní spád mezi deskami

k ... konstanta přístroje zahrnující přestupy tepla na zkušebních tělesech a teploměrech

Součinitel délkové roztažnosti

Na rozdíl od jiných konstrukčních materiálů, polymery vykazují velkou teplotní roztažnost. Ta se stanovuje jako změna lineárních anebo objemových rozměrů

$$\alpha_{t_1}^{t_2} = \frac{l}{l_0} \cdot \frac{dl}{dt} \left[\frac{1}{K} \right]$$

kde

dl ... délková změna při změně teploty o dt v teplotním intervalu ($t_2 - t_1$)

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

$$\beta_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{V} \cdot \frac{dV}{dt} \left[\frac{1}{K} \right]$$

kde

dV ... změna objemu způsobená změnou teploty o dt v teplotním intervalu ($t_2 - t_1$)

U izotropních materiálů jsou potom oba koeficient ve vzájemném vztahu, kde

$$\alpha = \frac{\beta}{3}$$

Teplotní roztažnost materiálů lze měřit na různých typech dilatometrů, splňujících schopnost ohřevu zkušební tělesa s maximální rychlostí $1,5 \text{ }^\circ\text{C min}^{-1}$ anebo jeho teploty v rozsahu $10 - 60 \text{ }^\circ\text{C}$, pokud je $\alpha > 5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Prostor uložení zkušební tělesa a indikační systém musí být vyrobeny z materiálu s minimálním součinitelem teplotní roztažnosti. V opačném případě je nezbytné provést korekci. Navíc indikační systém musí být schopen přenášet změnu délky zkušební tělesa při jeho prodlužování i zkracování.

Hodnoty tepelné vodivosti a teplotní roztažnosti vybraných materiálů jsou uvedeny v tabulce 12.1.

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tabulka 12.1: Hodnoty tepelné vodivosti a teplotní roztažnosti vybraných materiálů

Materiál	Měrné teplo (23 °C) [kJ kg ⁻¹ K ⁻¹]	Tepelná vodivost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Teplotní roztažnost [(K × 10 ⁻⁵) ⁻¹]
HDPE - vysokohustotní polyetylen	2,50 – 3,00	0,66	22
LDPE - nízkohustotní polyetylen	1,70 – 1,90	0,34	14
PP - polypropylen	1,40 – 1,60	0,24	17
PVC - polyvinylchlorid	1,40	0,14	7 – 8
PS - polystyren	1,26	0,15	7 – 8
ABS - akrylobutadienstyren	1,45	0,18	8 – 10
PMMA - polymethylmetakrylat	1,46	0,19	7 – 8
PA 6 - polyamid	1,68	0,21	8 – 10
PA 6 - polyamid plněný	1,45	0,29	3 – 5
PA 66 - polyamid	1,65	0,20	8 – 9
fenolické pryskyřice	1,35	0,35	5
fenolické pryskyřice plněné	1,00 – 1,20	0,69	2
silikonový kaučuk	–	0,16 – 0,41	30 – 40
železo	0,47	85	1 – 1,2
hliník	0,90	260	2,3
měď	4,40	450	1,8
sklo	0,73	1,20	0,5
beton	–	0,29	1,0
voda	4,18	0,66	–

Odolnost nízkých teplot

Teplota zásadním způsobem ovlivňuje fyzikálně-mechanické vlastnosti polymerních materiálů. Pokud teplota materiálu klesá, dochází k omezování pohybu polymerních řetězců a pod teplotou skelného přechodu k jejich úplnému zamrznutí následkem čehož se materiál stává křehkým. To je však u každého polymerního materiálu individuální a je to ovlivněno zejména jeho strukturou.

Existuje několik způsobů, jak stanovit teplotu skelného přechodu. Měří se při dynamických zkouškách, kdy dochází k řádovému poklesu modulu pružnosti nad teplotou skelného přechodu. Další možností je provedení statických zkoušek, kdy se měří teplotní závislost smykového modulu anebo modulu pružnosti. U kaučuků a jejich vulkanizátů je změna vlastností s poklesem teploty ještě výraznější a používají se proto rázové či deformační zkoušky.

Stanovení křehkosti v mrazu

Křehkost pryže v ohybu se definuje jako nejvyšší teplota, při které dojde k ohybu zkušební tělesa o 45 ° při náhlém ohnutí. Na vytemperované zkušební těleso ve tvaru pásku (25 × 6,5 × 2 mm), které je upnuté v čelistech, se uvolní nárazník čtvercového průřezu se zkosením 45 °. Podle stavu zkušební tělesa ihned po provedení zkoušky se upraví teplota pro další měření:

- pokud se zkušební těleso jeví stále jako tuhé, teplota se sníží o 8 °C až 10 °C
- pokud se zkušební těleso jeví jako tuhé (kožovité), teplota se sníží pouze o 3 °C až 5 °C

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

- pokud se zkušební těleso rozlomilo, teplota se zvýší o 5 °C až 7 °C

Obdobně se postupuje až do teploty, při které dojde k přeražení tří zkušebních těles.

Ze všech uvedených teplotních charakteristik, nejcharakterističtějším parametrem pro pryže je změna či vzrůst torzní tuhosti, který je uveden ve všech materiálových listech pryží podle teploty, při které dojde ke zvýšení torzního modulu dvakrát, pětkrát, desetkrát (T2, T5, T10).

Stejně jako při vysokých teplotách může dojít k 100 % deformaci pryže při tlakovém namáhání, tak může i při nízkých teplotách nastat tento případ. Zásadní rozdíl však je, že strukturní změny vlivem nízké teploty jsou vratné opětovným ohřevem.

Tuhnutí pryže může být vedle změny teploty také způsobeno krystalizací, což se může projevit nárůstem tvrdosti o 10 Sh až 40 Sh, což se projeví na torzní tuhosti, ohybu a dalších parametrech, což je důležité zejména s ohledem na aplikace materiálu.

Odolnost vysokým teplotám

Oblast teplotního použití je vždy charakteristická pro daný materiál a odvíjí se od struktury konkrétního materiálu. Polymery, které mají lineární strukturu, budou mnohem citlivější k teplotním změnám než například sesítované (pryže či pryskyřice). Jak již bylo zmíněno v úvodu, vliv teploty se nejčastěji sleduje na změně mechanických vlastností (tahová zkouška, rázové zkoušky), kdy je zkoušený materiál vytemperován a co nejrychleji změřen, v ideálním případě je temperován v celém průběhu zkoušky. Tyto statické zkoušky však nedokáží téměř vůbec předikovat chování materiálů při trvalé deformaci či dlouhodobému vystavení vysokým teplotám.

Vedle deformace jsou nezanedbatelným faktorem také chemické změny vyvolané například vlhkem, světlem, ovzduším. Teplotní vliv těchto parametrů na materiál se sleduje například pomocí kríkové zkoušky, kdy se sleduje teplota, při které dochází k změnám.

V případě pryží se považuje za vhodnou pouze taková teplota, při které dojde po 70 hod namáhání k poklesu tažnosti nejvýše o 40 % a současně se pevnost nezmění o více než ± 30 % z původní hodnoty.

Vzhledem k použití různých materiálů za vyšších teplot jsou tyto rozděleny podle trvalé tepelné odolnosti do tak zvaných tepelných tříd A, F, H (využití hlavně v elektronice).

Tepelná odolnost podle Vicata

Odolnost za tepla podle Vicata je definována jako teplota, při které dojde ke vtlačení předepsaného hrotu za definovaných podmínek (rychlost ohřevu a velikost zatížení) do zkušební vzorku do hloubky 1 mm. Tímto způsobem se sleduje teplota měknutí materiálu, která je kritická především z pohledu aplikací jednotlivých materiálů. Zkoušku lze provádět jen u čistých materiálů. U

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

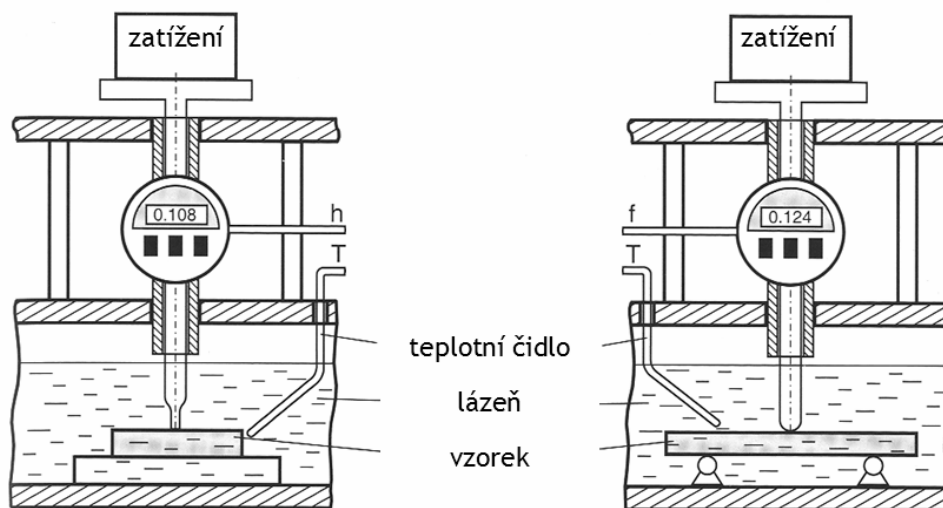
materiály obsahujících například textilní výztuž může dojít ke zkreslení výsledků v důsledku bránění průniku jehly skrz výztuž.

Zkušební zařízení (obrázek 12.1) se skládá z tyče uchycené na tuhém rámu tak, že je umožněn její volný pohyb ve svislém směru. V horní části tyče je opěrné zařízení pro předepsané závaží. V dolní části je potom souose připevněná zkušební jehla (délka 3 mm, kruhový průřez 1 mm²) z kalené ocele. Svislý pohyb zkušební hrotu se sleduje pomocí úchytkoměru s krokem nejméně 0,01 mm. Zkušební závaží (zahrnující hmotnost tyče a samotného závaží) se volí tak, aby bylo vyvozeno zkušební zatížení 0,1 MPa (metoda A) anebo 0,5 MPa (metoda B).

Rozměry zkušebního tělesa musí být nejméně 10 × 10 mm a tloušťka musí být 3 mm až 6,4 mm. Pokud je tloušťka nedostatečná, mohou se jednotlivé vzorky vrstvit (maximálně však 3 vrstvy). Těleso musí být hladké a planoparalelní. Vzorek se umístí na podstavu rámu pod nezatíženou jehlu tak, aby vzdálenost hrotu od okraje byla alespoň 3 mm.

Samotné měření začíná ponořením podstavy se zkoušeným tělesem do lázně (voda, olej) tak, aby byl vzorek ponořen nejméně 35 mm pod hladinu. Počáteční teplota temperační lázně musí být nejméně o 50 °C nižší než předpokládaná teplota měknutí daného vzorku. Temperační lázeň musí být schopna rovnoměrné zvyšování teploty, a to rychlostí 50 ± 5 °C hod⁻¹ anebo 120 ± 5 °C hod⁻¹.

Po 5 minutách temperace zkušebního tělesa se vynuluje úchytkoměr, tyč se zatíží předepsaným zkušebním zatížením a začne se zvyšovat teplota lázně definovanou rychlostí. S rostoucí teplotou se zaznamenávají hodnoty hloubky vtlačení až do předepsané hloubky vtisku 1 mm, odpovídající teplotě měknutí podle Vicata.



Obrázek 12.1: Princip měření tepelné odolnosti podle Vicata (vlevo) a tvarové stálosti HDT (vpravo).

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tepelná odolnost podle Martense

Tvarová stálost podle Martense se definuje jako teplota, při které dojde k smluvnímu průhybu zkušební tělesa. Velikost průhybu odpovídá poklesu ramena zkušební zařízení o 6 mm.

Jako zkušební tělesa se používají makro (10 × 15 × 120 mm) anebo mikro (6 × 4 × 50 mm) vzorky, které jsou namáhány ohybovým momentem 5 MPa vyvozeným závažím na páce. Celé měřicí zařízení je temperováno vzduchem, jehož teplota vzrůstá rychlostí $50 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C hod}^{-1}$. Jakmile dojde ke smluvní deformaci (6 mm) zkušební tělesa v důsledku zvýšené teploty, zkušební zařízení automaticky ukončí zkoušku.

Tímto způsobem se vyhodnocuje tepelná odolnost u vytvrzovaných pryskyřic (bakelit, lamináty) anebo vláknů plněných termoplastů.

Tepelná odolnost podle ISO/R75 (HDT)

Touto metodou se stanovuje teplota, při které dojde ke smluvnímu průhybu při konstantním zatížení – metoda A 1,85 MPa a metoda B 0,46 MPa (obrázek 12.2).



Obrázek 12.2: Schéma metody ISO/R75.

Podle tloušťky (výšky) zkušební vzorku se smluvní průhyb mění v rozsahu 0,21 mm až 0,33 mm (normováno). Předepsané rozměry zkušební tělesa jsou délka 110 mm, šířka 3 mm až 4,2 mm a výšky 9,8 mm až 15 mm.

Zkouška probíhá v temperační lázni, které umožňuje ohřev materiálů rychlostí $120 \text{ }^\circ\text{C hod}^{-1}$.

Srovnání hodnot tepelných odolností vybraných materiálů naměřených různými metodami je uvedeno v tabulce 12.2.

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tabulka 12.2: Srovnání tepelné odolnosti vybraných materiálů podle metody měření

Materiál	Vicat [°C]	Martens [°C]	ISO/R75 [°C]	Trvalá tepelná odolnost [°C]
PP - polypropylen	80 – 90	40	55 – 65	95 – 110
PVC - tvrdý polyvinylchlorid	70 – 90	65 – 75	60 – 75	60 – 75
PS - polystyren	80 – 100	65 – 75	70 – 90	60 – 80
ABS - akrylobutadienstyren	85 – 115	70 – 80	85 – 110	80 – 105
PMMA - polymethylmetakrylat	85 – 125	70 – 115	80 – 100	70 – 95
PA 6 - polyamid 6	210 – 220	45 – 55	90 – 100	80 – 100
PA 12 - polyamid 12	175	45	50 – 60	70 – 80
bakelit	–	120 – 150	120 – 130	120 – 150
epoxidy	–	70 – 100	80 – 110	80 – 110

Hořlavost

Povědomost o hořlavosti konkrétního materiálu je jednou z jeho nejdůležitějších vlastností s ohledem na bezpečnost reálné aplikace. Polymerní materiály je možné z tohoto pohledu rozdělit na hořlavé, samozhášivé a nehořlavé.

Jednotlivé způsoby zkoušení hořlavosti se liší například podle použitého vzorku. Tak například u folií s tloušťkou pod 1,3 mm se vysekne pásek (25 mm × 450 mm), na kterém se uprostřed vyznačí úsek 300 mm a ten se upne do držáku ve skříni s otvorem na dně. Pod jeden konec se umístí kahan a jakmile dojde k zapálení vzorku, začne se stopovat čas. Měří se čas potřebný k dosažení druhé značky. Pokud dojde k uhašení před dosažením značky, změří se doba hoření a chování vzorku. Pokud se zkouší desky větší tloušťky, zkouška probíhá stejně s tím rozdílem, že se vzorek upne pouze na jedné straně. Podobně se zkouší také lehčené hmoty, kdy se zkušební vzorek tvaru pásku (50 mm × 150 mm, 100 mm měřená délka) položí na ocelové sítko a na jednom konci zapálí.

Zkušební těleso se zapaluje plamenem hořáku po dobu 60 s, který se však neodstraňuje, ani když už vzorek hoří. Až potom se začne měřit doba hoření a podle chování se materiály rozdělí do tří kategorií:

- nehořlavé (nevznětlivé) - těleso po vytažení z plamene nehoří
- samozhášivé těleso nehoří déle než 15 s po vyjmutí z plamene
- hořlavé - těleso shoří úplně anebo hoří déle než 15 s.

Odolnost proti žáru podle Schramma-Zembrowskiho

V principu se jedná o stanovení úbytku hmotnosti a délky spálené části vzorku zkoušeného materiálu po definované dlouhém styku rozžhavené tyčinky (950 °C) se vzorkem. Hodnota odolnosti proti žáru se tak určuje jako součin úbytku hmotnosti a délkou spálené části vzorku (rozšíření plamene).

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Stupeň odolnosti proti žáru (Incandescence Resistance) se hodnotí podle tabelovaných hodnot (tabulka 12.3).

$$IR = \log \frac{10^5}{m \cdot s}$$

Výsledná hodnota je bezrozměrné číslo zaokrouhlené na desetiny.

K měření se používají zkušební tělesa o definovaných rozměrech (10 × 40 × 120 mm). Nejprve se však zkušební vzorek změří a zváží s přesností na 0,1 cm a 1 mg. Potom se upne do držáku.

Potom se přiloží rozžhavená tyčinka a po třech minutách (případně dříve, pokud vzorek vzplane) se zase odkloní. Po ochlazení se vzorek očistí od zbytků hoření a určí se zbytek hmotnosti [mg] a délka [cm] rozšíření plamene.

Tabulka 12.3: Porovnání stupňů odolnosti proti žáru podle Schramma-Zembrowskiho a podle IR

Součin (m.s)	Stupeň odolnosti	
	Podle Schramma-Zembrowskiho	Podle IR
pod 10	5	nad 0,4
10 – 100	4	3 – 4
100 – 000	3	2 – 3
1 000 – 10 000	2	1 – 2
10 000 – 100 000	1	0 – 1
100 000 a výše	0	0

0 - zcela shoří, 5 - prakticky nehoří

Hořlavost polymerů metodou kyslíkové čísla

Hoření organických látek podporuje přítomnost kyslíku. Proto polymerní materiály, které obsahují kyslík ve své molekule patří mezi vysoce hořlavé. Naopak halogeny, jsou prvky které redukují hoření a tím klesá i hořlavost polymerů, které takové prvky obsahují.

Metoda stanovení hořlavosti pomocí kyslíkového čísla je tak založena na stanovení minimální koncentrace, při které zkoušený polymer ještě hoří. K tomu se využívá směsi kyslíku s dusíkem, který naopak hoření tlumí.

Zkušební zařízení (obrázek 12.3) je složené ze skleněné a žáruvzdorné spalovací trubice (nejméně 55 mm v průměru, délka 400 mm), ve které je vertikálně umístěný vzorek zkoušeného materiálu (10 × 40 × 80 – 120 mm anebo 6,5 × 3 × 70 – 120 mm).

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Do zkušební trubice se rychlostí $0,04 \text{ m s}^{-1}$ přivádí směs dusíku a kyslíku, jejichž poměr lze snadno regulovat. Počáteční koncentrace kyslíku je 21 obj.%. Po promývání trubice směsí po dobu nejméně 30 s se zapálí zkušební těleso ve své horní části a po oddálení kahanu se měří doba, za jakou vzorek pohasne. Pokud hoří déle než 180 s tak se obsah kyslíku ve směsi snížil a naopak. Jako výsledná se určí koncentrace kyslíku, při které zkušební těleso hoří méně než 180 s a při minimálním zvýšení (maximálně o 0,5 obj.%) už těleso hoří déle než 180 s.

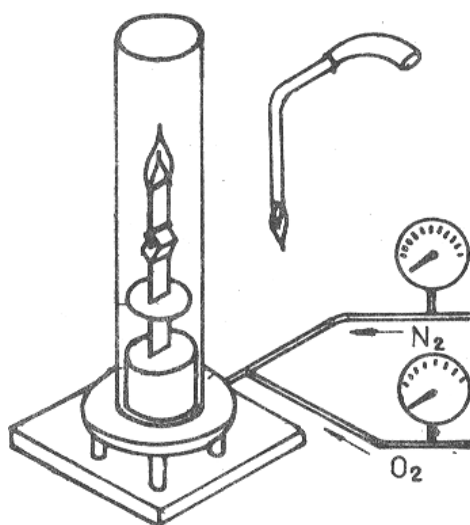
$$\text{kyslíkové číslo} = \frac{O_2}{O_2 + N_2} \cdot 100 \quad [\% \text{ obj.}]$$

kde

O_2 ... objem kyslíku procházející trubicí za jednotku času [$\text{dm}^3 \text{ s}^{-1}$]

N_2 ... objem dusíku procházející trubicí za jednotku času [$\text{dm}^3 \text{ s}^{-1}$]

V některých normách se lze setkat také s kyslíkovým indexem (LOI), jehož hodnota je $100 \times$ menší (tabulka 12.4).



Obrázek 12.3: Zařízení pro stanovení hořlavosti metodou kyslíkového čísla.

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tabulka 12.4: Kyslíkové číslo (index) u vybraných polymerních materiálů

Materiál	Kyslíkové číslo		
PMMA - polymetymetakrylát	0,17	hoří na vzduchu	
PE - polyetylen	0,17 – 0,21	bez škvarků	silně hořlavé
PS - polystyren	0,18	LOI < 0,21	
PB - polybutadien	0,18		
silikonový kaučuk	0,22	hoří a zanechává	
epoxidy	0,22	příškvarků	pomalou hořící
PES - lineární polyestery	0,25	LOI > 0,21	
PC - polykarbonát	0,27		
bakelit	0,28		
silikonové pryskyřice	0,28	LOI > 0,28	samozhášivé
PVC - polyvinylchlorid	0,45		nehořlavé
PTFE - polytetrafluoretylen	0,95		

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



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ