

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Základy zkušebnictví

# 123ZAZK Základy zkušebnictví

## Přednáška 9

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Základy zkušebnictví

# Zkoušení asfaltů a polymerů

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Základy zkušebnictví

# Asfalt

- živičná látka
- směs různých sloučenin uhlovodíků
- (parafinů, olefinů, kyslíku, dusíku a síry)
  - přírodní
  - umělé (ropné)



Babylonian tablet of the period of Agade, circa 2700 B.C. A letter concerning the receipt of bitumen



Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

Základy zkušebnictví

# Přírodní asfalt



Gilsonitový důl  
Irán







Pitch Lake  
La Brea, Trinidad

**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Ropné asfalty

- destilační zbytek z frakční destilace ropy = **primární asfalt**
- oxidované** - profukování vzduchem při 250 – 300 °C
- ředěné** – organická rozpouštědla (40 - 50 % hm.)
- modifikované** – přísada polymeru




**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Vlastnosti asfaltů

**Obecné:**

- nerozpustné ve vodě
- nenasákavé
- hustota  $\approx 1000 \text{ kg.m}^{-3}$
- $\lambda \approx 0,75 \text{ w.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- rozpustné v organických rozpouštědlech
- délková teplotní roztažnost  $\approx 600.10^{-6} \text{ K}^{-1}$
- hořlavé a výhřevné
- stárnutí vlivem UV záření a  $\text{O}_2$



**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Vliv modifikačních přísad na vlastnosti asfaltu

Vlastnost Typ asfaltu	Bod lámavosti [°C]	Bod měknutí [°C]	Tažnost [%]
oxidovaný	0 – 4	85 – 90	2 – 5
modifikace APP	-5 až -15	135 – 150	20
modifikace SBS	-15 až -35	110 – 125	> 100
modifikace SBS-SIS-SEBS	- 45	125	

SBS = styren-butadien-styren (7-15%)  
APP = ataktický polypropylen (15-35 %)  
SBS-SIS-SEBS = Styren–Etylen–Butylen–Styren

**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Zkoušky asfaltů

- konvenční zkoušky
  - penetrace
  - bod měknutí
  - bod lámavosti
  - vratná duktilita
  - viskozita
  - přilnavost ke kamenivu
  - rozpustnost v benzenu (čistota asfaltu)
  - bod vzplanutí
- funkční zkoušky (simulují stavy asfaltové směsi během výroby a její chování v různých podmínkách)
  - náchylnost k segregaci, zhutnitelnost, citlivost vůči účinkům vody, únavové charakteristiky



**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Zkouška penetrace jehlou ČSN EN 1426

- zjišťování tvrdosti a odolnosti proti opotřebení

Podstata metody:

- stanovení průniku jehly do vzorku asfaltu při teplotě lázně 25°C po dobu 5 s.
- celkové zatížení na jehlu 100g.
- měří se hloubka vpichu
- výsledek v desetinách mm



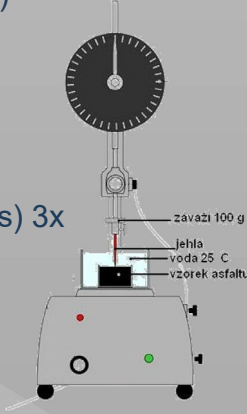

**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Zkouška penetrace jehlou ČSN EN 1426

**Postup:**

- nalití vzorku do nádoby (min. 100g)
- zchladnutí na laboratorní teplotu
- temperace na 25°C ve vodní lázni
- očištění a osazení penetrační jehly
- hrot jehly těsně k povrchu
- stanovení penetrace (25°C, 100g, 5s) 3x



**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Zkouška bodu měknutí - metoda kroužek- kulička - ČSN EN 1427

- Stanovení horní meze oboru plasticity ve °C

Podstata metody

- stanovení teploty, při níž asfalt změkne natolik, že kulička položená na vrstvě asfaltu o tl. 6,4 mm protáhne tuto vrstvu na délku 25 mm






**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství  
a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Zkouška bodu měknutí - metoda kroužek- kulička - ČSN EN 1427

**Postup:**

- odebrání vzorku
- nahřátí kroužků a umístění na odlévací destičku (glycerin)
- nalití asfaltu do kroužků s mírným přebytkem + zchladnutí 30 minut
- odříznutí nadbytečného pojiva
- sestavení přístroje + temperace při 5°C (voda nebo glycerin 99%)
- vložení kuliček + ohřev rychlostí 5°C/min.
- záznam teploty při 25 mm propadu



**Základy zkušebnictví**

## Zkouška bodu lámavosti podle Fraase – ČSN EN 12593

- Stanovení dolní meze oboru plasticity ve °C

**Podstata:**

- stanovení teploty, při které se tenká vrstva asfaltového pojiva nanesená na ocelový plíšek za definovaných podmínek ochlazování a zatížení zlomí






Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

**Základy zkušebnictví**

## Zkouška bodu lámavosti podle Fraase – ČSN EN 12593

**Postup:**

- příprava 3 zkušebních plíšků ( $0,4 \pm 0,01$ ) g pomocí magnetického podstavce
- počátek zkoušky za 30 - 240 minut
- ochlazování  $1^\circ\text{C}/\text{min}$  – výchozí teplota min.  $15^\circ$  nad předpokládaným bodem lámavosti (pevný oxid uhličitý)
- zahájení ohýbání ( $10 \pm 2$ ) °C nad předpokládaným bodem lámavosti
- kontrola vzniku praskliny – výsledek je průměr dvou stanovení

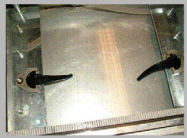
Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

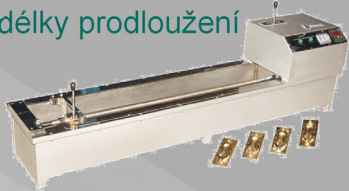
**Základy zkušebnictví**

## Zkouška vratné duktility ČSN EN 13398

**Podstata:**

- asfaltové tělísko se protahuje při teplotě  $25^\circ\text{C}$  a konstantní rychlosti  $50\text{ mm}/\text{min}$  na předem určené prodloužení (200 mm).
- takto získané asfaltové vlákno se uprostřed přestřihne, aby se získaly dvě poloviny vlákna
- po uplynutí předem určené doby pro navrácení se měří zkrácení polovláken
- vyjadřuje se jako procento z délky prodloužení





Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

**Základy zkušebnictví**

## Zkouška vratné duktility ČSN EN 13398

**Průběh zkoušky:**

- nalítí vzorku do sestavené mírně nahřáté formy na podkladní destičce opatřené separačním prostředkem
- zchladnutí na laboratorní teplotu 30 min a přemístění do vodní lázně
- po ( $30 \pm 5$ ) min. seříznutí přebytku a temperace ( $90 \pm 5$ ) min. při ( $25 \pm 0,5$ ) °C
- odstranění bočnic a umístění vzorku do trakčního zařízení
- protahování rychlostí  $50\text{ mm}/\text{min}$ . na prodloužení  $200 \pm 1\text{ mm}$ .
- do 10s po zastavení přestřihnoutí vlákna
- po 30 min. změření délky mezi konci polovláken

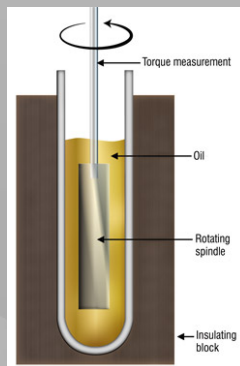
**RE =  $(d/200) \cdot 100\%$** , kde d je vzdálenost mezi polovlákný

- aritmetický průměr stanovený ze dvou zkušebních těles, jejichž výsledky se neliší o více než 5%.

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Zkouška viskozity rotačním vřetenovým viskozimetrem ČSN EN 13302

- otáčení vřetene v nádobce obsahující vzorek
- měří se relativní odpor vřetene k otáčení
- jednotky Pa.s



## Značení asfaltů

AOSI 85 / 25

Asfalt Oxidovaný Stavebně Izolační

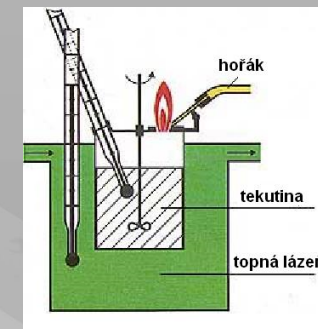
bod měknutí ve °C

hloubka penetrace v desetinných mm



## Bod vzplanutí ČSN EN ISO 2592

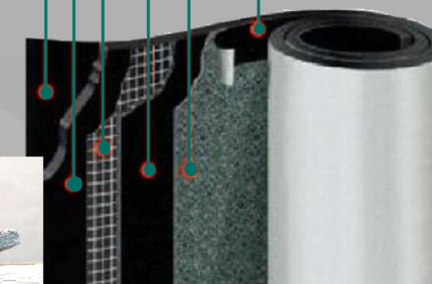
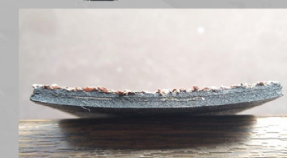
- nejnižší teplota asfaltu, při níž unikne ze zahříváného vzorku nad jeho hladinu do vzduchu tolik par, že vzniklá směs par a vzduchu dosahuje dolní meze zápalnosti a po přiblížení plamene vzplane



## Asfaltové izolační pásy



spalná fólie  
asfaltová vrstva  
výztužná vložka  
asfaltová vrstva  
minerální posyp  
ochranný pásek



## Požadavky na použití asfaltových pásů - ČSN 73 0605-1

Charakteristika	Jednotka	Vícevrstvé systémy – vrchní vrstva Požadavek
Zjevné vady	–	Bez zjevných vad
Přímost	–	Vyhovuje
Tloušťka	mm	≥ 4,2*
Vodotěsnost	kPa	≥ 100
Chování při vnějším požáru	–	Systémová zkouška
Reakce na oheň	–	Určit třídu
Největší tahová síla – podélně	N/50 mm	≥ 500/≥ 800 (P/G)
– příčně		≥ 500/≥ 800 (P/G)
Největší protažení – podélně	%	≥ 30/≥ 2 (P/G)
– příčně		≥ 30/≥ 2 (P/G)
Rozměrová stálost	%	≤ 0,3 (P)
Ohebnost při nízké teplotě	°C	≤ -5/≤ -15 (APP/SBS)
Odolnost vůči stékání při zvýšené teplotě	°C	≥ +120/≥ +90 (APP/SBS)
Množství asfaltové hmoty	g/m <sup>2</sup>	≥ 2500

Technické parametry pásů dle harmonizované výrobní normy ČSN EN 13707, ČSN EN 13970, ČSN EN 13969 a české technické normy ČSN 73 0605-1 Požadavky na použití asfaltových pásů

Vlastnost	Zkušební metoda	Požadavek ČSN 73 0605-1				Deklarovaná hodnota
		Tabulka 2*	Tabulka 4*	Tabulka 6*	Tabulka 6*	
délka	EN 1848-1	≥ MLV	≥ MLV	≥ MLV	≥ MLV	7,5 m
šířka	EN 1848-1	≥ MLV	≥ MLV	≥ MLV	≥ MLV	1,0 m
tloušťka	EN 1849-1	≥ 4,0 mm (± 5%, max. 0,2 mm)	≥ 3,5 mm (± 5%, max. 0,2 mm)	≥ 4,0 mm (± 5%, max. 0,2 mm)	≥ 3,5 mm (± 5%, max. 0,2 mm)	4,0 (± 0,2) mm
plošná hmotnost	EN 1849-1	-	-	-	-	4,4 (± 0,22) kg/m <sup>2</sup>
zjevné vady	EN 1850-1	bez zjevných vad	bez zjevných vad	bez zjevných vad	bez zjevných vad	bez zjevných vad
přímost	EN 1848-1	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje	vyhovuje
reakce na oheň	EN 13501-1	určit třídu	určit třídu	určit třídu	určit třídu	třída E
vodotěsnost	EN 1928	≥ 100 kPa	≥ 2 kPa	≥ 100 kPa	vyhovuje	vyhovuje
tahové vlastnosti – největší tahová síla	EN 12311-1	≥ 500 N/50 mm	≥ 220 N/50 mm	≥ 500 N/50 mm	≥ 150 N/50 mm	podélně 1100 (± 250) N/50 mm příčně 800 (± 250) N/50 mm
tahové vlastnosti – tažnost	EN 12311-1	≥ 30 %	≥ 2 %	≥ 30 %	≥ 2 %	podélně 90 (± 10) % příčně 50 (± 10) %
odolnost proti nárazu (metoda A)	EN 12691	-	≥ MLV	≥ MLV	≥ MLV	900 mm
odolnost proti statickému zatížení	EN 12730	-	≥ MLV	≥ MLV	-	10 kg
odolnost proti protrhávání (dířka hřebíku)	EN 12310-1	-	MDV	MDV	-	podélně 900 (± 100) N příčně 400 (± 100) N
pevnost spoje – smyková odolnost ve spoji	EN 12317-1	-	MDV	MDV	MDV	podélně 1100 (± 200) N/50 mm příčně 500 (± 100) N/50 mm
odolnost proti stékání při zvýšené teplotě	EN 1110	≥ 90 °C	-	-	-	100 °C
ohebnost za nízkých teplot	EN 1109	≥ -15 °C	≥ -15 °C	≥ -15 °C	≥ -15 °C	-25 °C
propustnost vodní páry – faktor difúzní odporu μ – ekvivalentní difúzní tloušťka s <sub>e</sub>	EN 1931	MDV nebo 20 000	MDV	MDV	≥ 100 000	28 000 (± 1000)*
trvanlivost – propustnost vodní páry po umělelém stárnutí	EN 1298 EN 1931	-	-	-	-	112 (± 6) m
trvanlivost – propustnost vodní páry po vlivu chemikálií	EN 1847 EN 1931	-	-	-	-	NPD
trvanlivost – vodotěsnost po umělelém stárnutí	EN 1298 EN 1928	-	≥ 2 kPa	≥ 100 kPa	-	vyhovuje
trvanlivost – vodotěsnost po vlivu chemikálií	EN 1847 EN 1928	-	-	-	-	NPD
nebezpečné látky	REACH (1907/2006)	-	-	-	-	neobsahuje
množství asfaltové hmoty	ČSN 73 0605-1	≥ 2 700 g/m <sup>2</sup>	≥ 2 000 g/m <sup>2</sup>	≥ 2 700 g/m <sup>2</sup>	≥ 2 300 g/m <sup>2</sup>	2 700 g/m <sup>2</sup>

Harmonizovaná technická specifikace: EN 13707:2004+A2:2009, EN 13969:2004/A1:2006 a EN 13970:2004/A1:2006

## Stanovení tloušťky a plošné hmotnosti - ČSN EN 1849-1

### Stanovení tloušťky

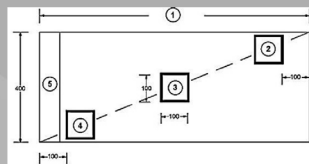
- změření tloušťky na 10 místech pásu
- průměrná hodnota v mm



### Stanovení plošné hmotnosti

- tři zkušební tělesa 100 x 100 mm (± 1 %) – jedno ze středu, 2 z okraje pásu
- zvážení vzorků ( $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$ ) v g

$$m = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{3} \times 0,10 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$



## Stanovení tahových vlastností ČSN EN 12311-1

### Podstata zkoušky:

- zkušební těleso je taženo při konstantním nárůstu protažení až do přetržení. Během zkoušky se průběžně zaznamenává tahová síla a odpovídající změna délky zkušebního tělesa
- zkušební těleso má pravoúhlý tvar o šířce (50 ± 5) mm a délce (200 mm + 2 násobek délky upnutí)
- výsledek: maximální tahová síla vyjádřená v N na šířku pásu 50 mm a odpovídající protažení v procentech základní délky pro každý směr





## Stanovení rozměrové stálosti ČSN EN 1107-1

- stanovení rozměrových změn asfaltových pásů v důsledku vnitřních napětí vznikajících při výrobě a uvolněných působením tepla

Podstata:

- zkušební tělesa jsou vystavena stanovenému tepelnému zatížení tak, aby došlo k uvolnění vnitřních napětí

Postup:

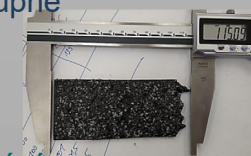
- změření vzdálenosti při teplotě  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$
- zahřátí na teplotu  $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$  po 24 hodin  $\pm 10$  minut
- po vychladnutí opět změření

## Stanovení tepelné odolnosti ČSN EN 1110

- stanovení odolnosti asfaltové krycí hmoty proti stékání nebo pro stanovení meze odolnosti proti stékání

Postup:

- zavěšení vzorků do sušárny a postupné zvyšování teploty po  $5^\circ\text{C}$
- stanovení teplot  $T$  a  $(T + 5) ^\circ\text{C}$ 
  - při teplotě  $T$  je zvětšení rozměru  $\Delta L \leq 2 \text{ mm}$  a nedojde k odkapávání,
  - při teplotě  $(T + 5) ^\circ\text{C}$  je zvětšení rozměru  $\Delta L > 2 \text{ mm}$  a / nebo dojde k odkapávání.



## Ohebnost při nízké teplotě ČSN EN 1109

- zkušební vzorek je v lázni ochlazen na deklarovanou hodnotu (např.  $25^\circ\text{C}$ ) a poté je ohnut přes trn o průměru 30 mm
- nesmí se objevit trhliny



## Zkoušení polymerů



Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

**Základy zkoušebnictví**

# Polymery

- *polys = mnoho, meros = část*
- makromolekulární sloučeniny, ve kterých se opakuje stejná stavební jednotka (100 - 100 000 x)

$$\text{H}-(\text{CH}_2)_n-\text{H} \text{ (polyetylen)}$$

**POLYMERY**

PLASTY

ELASTOMERY

TERMOPLASTY

REAKTOPLASTY

KAUČUKY

TERMOPLASTICKÉ ELASTOMERY

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

**Základy zkoušebnictví**

# Zkratky běžných polymerů

<b>EP</b>	Epoxidová pryskyřice	<b>PMMA</b>	Polymethylmetakrylát
<b>MF</b>	Melamin-formaldehydová pryskyřice	<b>PP</b>	Polypropylen
<b>NR</b>	Přírodní kaučuk	<b>PS</b>	Polystyren
<b>PA</b>	Polyamid	<b>EPS</b>	Expandovaný PS
<b>PC</b>	Polykarbonát	<b>PUR</b>	Polyuretan
<b>PE</b>	Polyetylen	<b>PVC</b>	Polyvinylchlorid
<b>HDPE</b>	Vysokohustotní PE	<b>SBS</b>	Styren-butadien-styren
<b>LDPE</b>	Nízkohustotní PE	<b>UF</b>	Močovinoformaldehyd. pryskyřice
<b>PET</b>	Polyethylentereftalát	<b>UP</b>	Nenasycený polyester
<b>PF</b>	Fenol-formaldehydová pryskyřice	<b>Q</b>	Všeobecné označení pro silikonové kaučuky

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

**Základy zkoušebnictví**

# Plasty

### Termoplasty

- při zahřívání měknou, taví se
- po ochlazení získávají své původní vlastnosti
- PE, PVC, PS

### Reaktoplasty

- první ohřev - přejdou do plastického stavu
- další ohřev - vytvrzení plastu a vytvoření 3D struktury
- PU, EP, UF

a)

b)

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

**Základy zkoušebnictví**

# Elastomery

- vysoce pružné materiály s nízkou tuhostí, které lze za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení

### Kaučuky

- vulkanizace (= řídké zesítnění - nejčastěji sírou) → **pryže**
- chemické vazby mezi makromolekulami

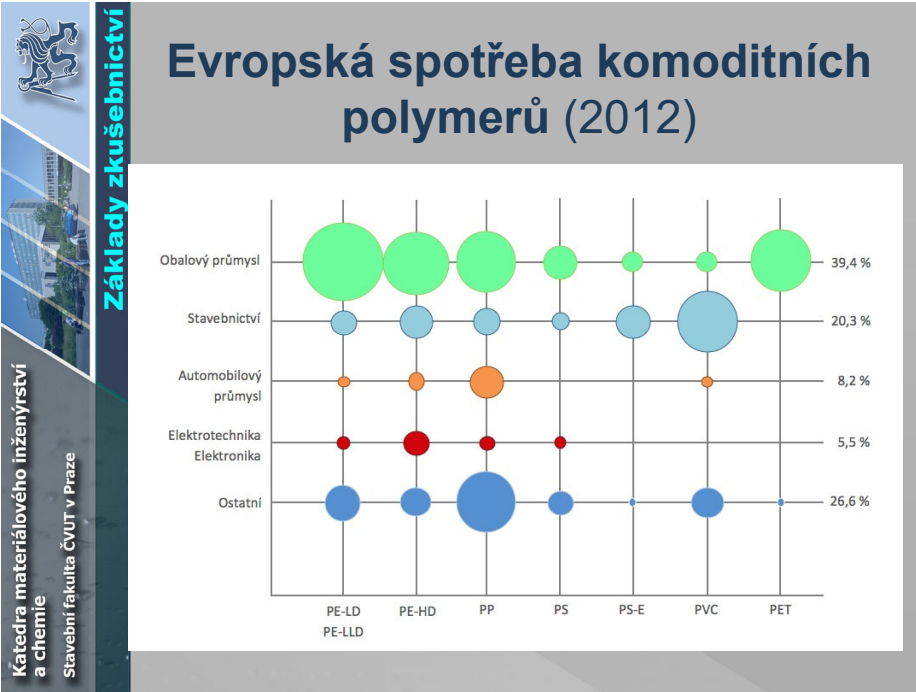
### Termoplastické elastomery

- struktura tvořena tvrdými (elastomery) a měkkými (termoplasty) segmenty
- zvyšováním teploty přechází do tekutého stavu a lze je zpracovávat obdobně jako termoplasty

a)

b)





**Základy zkoušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Identifikace polymerů

- není jednoduchá (různé typy polymerních směsí, kopolymerů, přísad i recyklátů)
- přesné určení – pouze v laboratoři pomocí analytických přístrojů
- orientační stanovení
  - pohledem
  - flotační metoda
  - zkoušky hoření a zápachu
  - zkouška rozpustnosti

**Základy zkoušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Zkouška pohledem

- tvár
  - fólie (PE, PP, PS, PVB, PVC), vlákno, výlisek
- průhlednost
  - průhledný, průsvitný, neprůsvitný
  - průhledný vzorek: pravděpodobně amorfni plast - PS, PMMA, PC, PET (polyethylentereftalát), výjimečně PVC, PP
- zabarvenost, opacita
- povrch (ohmatání a zarytí nehtem)
  - drsnost (hladký, hrubý)
  - lepivost
  - omak (voskový, měkký, tvrdý)
- zkouška pohledem není vždy jednoznačně spolehlivá

**Základy zkoušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

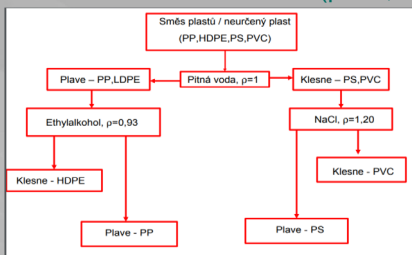
## Flotační zkouška

- ponoření vzorku do kapaliny se známou hustotou
- vzorek plave nebo se potápí – jeho hustota je  $< = >$  než hustota kapaliny

Typ plastu	g/cm <sup>3</sup>
PP - polypropylen	0,90 - 0,93
LDPE - polyethylen nízkohustotní	0,93 - 0,95
HDPE - polyethylen vysokohustotní	0,95 - 0,98
ABS - akrylonitril butadien styren	1,03 - 1,05
PS - polystyren (pevný)	1,05 - 1,08
PMMA - polymethylmetakrylát	1,17 - 1,22
PC - polykarbonát	1,20 - 1,24
PVC - polyvinylchlorid	1,30 - 1,45
PET - polyethylen tereftalát	1,34 - 1,40

## Flotační zkouška

- imerzní kapaliny:
  - voda ( $\rho = 1,0 \text{ g/cm}^3$ )
  - ethylalkohol ( $\rho = 0,93 \text{ g/cm}^3$ )
  - roztok NaCl ( $\rho = 1,20 \text{ g/cm}^3$ )
  - izopropanol ( $\rho = 0,79 \text{ g/cm}^3$ )
  - vodný roztok bromidu sodného ( $\rho = 1,41 \text{ g/cm}^3$ )
  - vodný roztok dusičnanu vápenatého ( $\rho = 1,60 \text{ g/cm}^3$ )
  - vodný roztok chloridu zinečnatého ( $\rho = 1,70 \text{ g/cm}^3$ )



## Stanovení hustoty nelehčených plastů – Imerzní metoda ČSN EN ISO 1183-1

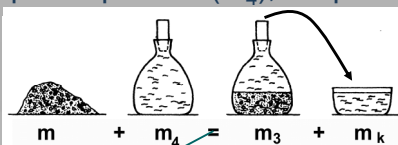
- vážení vzorku o daném objemu na vzduchu ( $m_{S,A}$ ) a v imerzní kapalině se známou hustotou ( $m_{S,IL}$ )
- Archimédův zákon

$$\rho_s = \frac{m_{S,A} \times \rho_{IL}}{m_{S,A} - m_{S,IL}} \quad [\text{g/cm}^3]$$



## Stanovení hustoty nelehčených plastů kapalinovým pyknometrem

- vhodná pro částice, prášky, granule
- kapalina se známou hustotou  $\rho_k$
- vážení: pyknometr prázdný ( $m_1$ ), p. se suchým vzorkem ( $m_2$ ), p. s kapalinou ( $m_4$ ), s kapalinou a vzorkem ( $m_3$ )



$$\rho = \frac{m}{V_h} = \frac{m}{V_k} = \frac{m \times \rho_k}{m_k}$$

$$m_k = m + m_4 - m_3$$

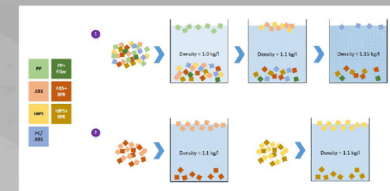
$$m = (m_2 - m_1)$$

$$V_k = \frac{m_k}{\rho_k}$$

$$\rho = \frac{m \times \rho_k}{m + m_4 - m_3}$$

## Stanovení hustoty nelehčených plastů - titrace

- vhodná pro všechny typy materiálů
- Postup:
- do válce imerzní kapalina nižší hustoty
  - vložení vzorku (musí klesnout na dno)
  - přikapávání imerzní kapaliny vyšší hustoty
  - částice přestanou sedimentovat
  - směs imerzních kapalin, ve které většina částic vydrží alespoň jednu minutu flotovat má shodnou hustotu se vzorkem polymeru



**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Zkouška hoření

- vzorek plastu je vložen do okraje nesvítivého plamene plynového kahanu
- sleduje se:
  - snadnost zapálení
  - hoření (i po oddálení zdroje plamene)
  - barva a charakter plamene
  - kouř(barva, intenzita)
  - změny plastu při hoření (odkapávání vzorku, prskání, vznik bublin),
  - zápach dýmu po zhasnutí
  - vzhled ohořelého zbytku

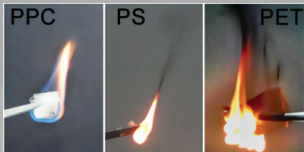


Fig. 1 Burning properties of poly(propylene carbonate) (PPC), polystyrene (PS), and poly(ethylene terephthalate) (PET).

**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Zkouška hoření Chování polymerů

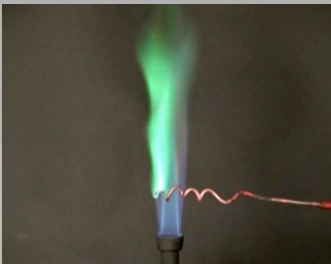
Hořlavost	Vzhled plamene	Zápach dýmu, taveniny	Plast, polymer
Vzorek vůbec nehoří	-	ostrý, nakyslý	PTFE, PCTFE, PI
Vzorek se obtížně zapaluje, mimo plamen zhasíná	svítivý, čadivý, jasně žlutý	fenol, formaldehyd, amoniak, aminy	CF, PF, UF, MF
	svítivý, čadivý, zelený okraj		PC
	Svítivý, čadivý, zelený okraj	chlorovodík	PVC, PVDC
Vzorek hoří v plameni, mimo plamen hoří nebo pomalu zhasíná	žlutooranžový, modrý dým	spálená rohovina	PA
	svítivý	draždivý	PVOH
	žlutooranžový, čadivý	nasládlý, aromatický	PET, PBT
	žlutý, modrý okraj	tavicí se parafín (svíčky), při hoření odkapává	PE, PP
Vzorek se snadno zapaluje, hoří i mimo plamen	oranžový, mírně čadivý	po spáleném papíru	RC
	svítivý, silně čadí	nasládlý	PS
	sytě žlutý, nepatrně čadivý, jiskřící	kyselina octová	PVAC
Vzorek se snadno zapaluje, hoří i mimo plamen	svítivý s modrým středem	nasládlý, vonící po ovoci	PMMA
	modravý	formaldehyd	POM

**Základy zkušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Beilsteinova zkouška

- prokázání přítomnosti halogenů (fluoru, chloru, bromu) ve struktuře plastů
  - malý vzorek plastu je vkládán na čistém měděném drátku do nesvítivého plamene.
  - pokud se plamen zbarví zeleně → halogenidy



**Základy zkušebnictví**

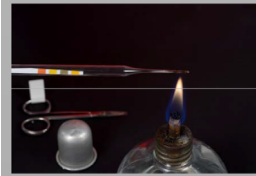
Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Pyrolýza

- malé množství vzorku plastu se ve zkumavce opatrně zahřívá malým plamenem
- přiložení navlhčeného pH papírku k ústí zkumavky

pH reakce rozkladných produktů

kyselá	neutrální	zásaditá
polymery obsahující chlor a fluor <sup>a)</sup>	polykarbonáty	polyoxymethylén lineární polyurethany
polyvinylacetát	polyethylén, polypropylén	polyamidy <sup>b)</sup>
polyethyléntereftalát <sup>c)</sup>	polyvinylalkohol	ABS polymery
novolaky	polyvinylacetáty	polyakrylonitril
polyurethany	polyvinylétery	melamino- a močovino- formaldehydové pryskyřice
polyesterové pryskyřice (nenasycené)	polymery styrenů (včetně kopolymerů s akrylonitrilem) <sup>d)</sup> , polymethakryláty	



- depolymerace
  - kondenzace kapiček monomeru na chladných stěnách zkumavky (PMMA, částečně PS)



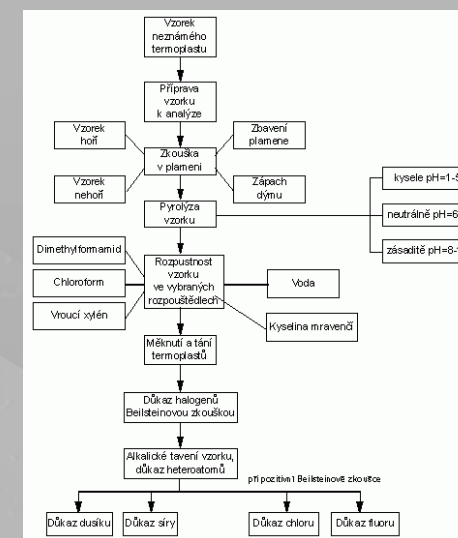
## Zkouška rozpustnosti

- rozpustnost ve vybraných rozpouštědlech – pomalé rozpouštění (hodiny)

Rozpustnost běžných termoplastů ve vybraných rozpouštědlech:

Rozpouštědlo	Polymer
Voda	polyakrylamid, polyvinylalkohol, polyethylénoxid, polyvinylpyrrolidon
Vrúcí xylén	polyethylen, polypropylen, polystyrén a kopolymery styrénu, polyvinylchlorid, polyakrylát, polytrifluorchlorethylén
Dimethylformamid	polyakrylonitril, polyvinylchlorid, polyoxymethylén (var), polyurethan
Chloroform	polystyrén a kopolymery styrénu, polyvinylacetát, polyakrylát, polymethakrylát, polykarbonát, alifatické polyester
Kyselina mravenčí	polyamidy, deriváty polyvinylalkoholu, polyurethan, močovino- a melaminoformaldehydové kondenzáty (nezesíťované)
Ner rozpustné v uvedených rozpouštědlech	polyfluoruhlodíky, polyethylterefalát, všechny zesíťované polymery

## Identifikace polymerů - postup

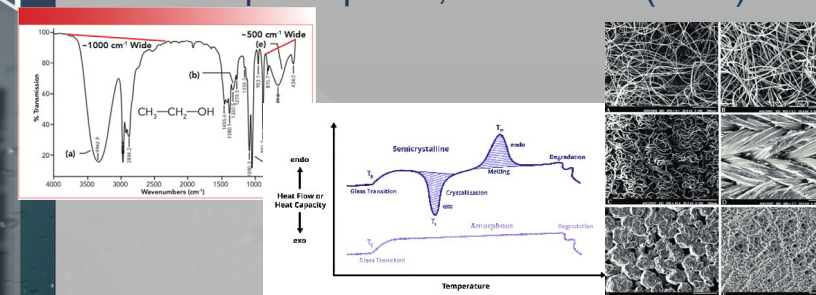


Druh zkoušky a její výsledek	PE-ID	PE-HD	PP	PS	ABS	SAN	PVC	PMMA	PA	PAN	PET	POM	PC	UF	PF	EP	PUR ostatní
<b>Zkouška pohledem</b>																	
Průhledný (standardně)					x	x	x				x	x					x
<b>Flotační zkouška</b>																	
Plave ve vodě	x	x	x														
<b>Zkouška hoření – chování vzorku při spalování</b>																	
Hoří i po vyjmutí z plamene	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mimo plamen zhasíná							x						x	x	x		
Taví se a odkapává	x	x	x						x	x	x						
Čadí	x	x	x		x	x				x	x	x	x	x	x	x	
Tvoří saze				x													
Prská								x									
Tvoří se puchýřky, bublinky									x				x				
<b>Zkouška hoření – barva plamene</b>																	
Svítlivý	x	x	x	x	x	x				x	x						x
Modré jádro	x	x	x														
Modrý se žlutou špičkou								x	x								
Žlutý se zeleným okrajem							x										
Žlutý				x	x	x				x							
Namodralý											x						
<b>Zkouška hoření – pach při spalování</b>																	
Vosk	x	x	x														
Spálená rohovina									x								
Čpavý (štiplavý)							x			x	x	x					x
Nasádlý				x	x	x		x			x						
Typicky aminový, rybi															x		
Fenolický (doutnající dřevo)													x	x	x		
<b>Vzhled ohořelého zbytku</b>																	
Zuželnatělý				x	x	x	x					x	x	x			
Otavený			x	x					x		x						
Zčernalý				x						x							
Nezměněný												x					
Změklý	x	x															
<b>Ostatní</b>																	
Stopa po škrábnutí nehtem	x																
Fólie šustí	x	x															

## Identifikace polymerů

## Přístrojová identifikace polymerů

- infračervená spektroskopie (FTIR)
- diferenční skenovací kalorimetrie (DSC)
- termogravimetrie
- mikroskopie –optická, elektronová (SEM)



## Vlastnosti polymerů

### CAMPUS® Materiálový list

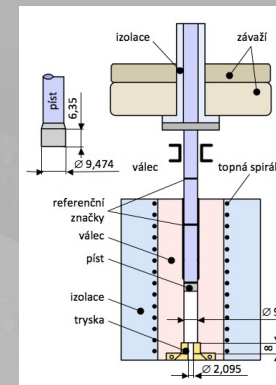
Ultramid® A3K PA-66  
BASF



Charakteristika materiálu			
Vysoce tekoucí materiál pro rychlé zpracování technologií vstříkávání. Používá se pro vysoko namáhané konstrukční díly, jako jsou ložiska, ozubená kola nebo izolanty v elektrotechnice pro svorky a konektory kabelů.			
Reologické vlastnosti			
Objemový index toku taveniny (275 °C, 5 kg)	120 / *	cm <sup>3</sup> /10min	ISO 1133
Výrobní směrtní, rovnoběžný směr	1,4 / *	%	ISO 294-4
Výrobní směrtní, kolmý směr	1,7 / *	%	ISO 294-4
Mechanické vlastnosti			
Modul pružnosti v tahu	3100 / 1100	MPa	ISO 527-1/2
Napětí na mezi kluzu	85 / 50	MPa	ISO 527-1/2
Poměrné prodloužení na mezi kluzu	5 / 20	%	ISO 527-1/2
Jmenovité poměrné prodloužení při přetržení	30 / >50	%	ISO 527-1/2
Křipový modul v tahu, 1h	* / 1100	MPa	ISO 899-1
Křipový modul v tahu, 1000 h	* / 700	MPa	ISO 899-1
Rázová houževnatost Charpy, +23 °C	N / N	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1/1eU
Rázová houževnatost Charpy, -30 °C	N / -	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1/1eU
Vrubová houževnatost Charpy, +23 °C	5 / 20	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1/1eA
Vrubová houževnatost Charpy, -30 °C	4 / -	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179-1/1eA
Teplotní vlastnosti			
Teplota tání, 10 °C/min	260 / *	°C	ISO 11357-1/3
Teplota skelného přechodu, 10 °C/min	72 / *	°C	ISO 11357-1/2
Teplota průhybu při zatížení, 1,80 MPa	75 / *	°C	ISO 75-1/2
Teplota měknutí podle Vicata, 50 °C/h, 50 N	250 / *	°C	ISO 306
Koeficient délkové teplotní roztažnosti	85 / *	10 <sup>-6</sup> /K	ISO 11359-1/2
Hollivost, 1,5 mm tloušťka	V-2 / *	třída	IEC 60695-11-10
Kyslíkové číslo	28 / *	%	ISO 4589-1/2
Elektrické vlastnosti			
Relativní permitivita, 1 MHz	3,2 / 5	-	IEC 60250
Zrátový číselník, 1 MHz	250 / 2000	-	IEC 60250
Měrný vnitřní izolační odpor	1·10 <sup>13</sup> / 1·10 <sup>10</sup>	Ω·m	IEC 60093
Měrný povrchový izolační odpor	* / 1·10 <sup>10</sup>	Ω	IEC 60093
Elektrická pevnost	41 / 29	kV/mm	IEC 60243-1
Ostatní vlastnosti			
Naskavost	8,5 / *	%	ISO 62
Navlhavost	2,8 / *	%	ISO 62
Hustota	1130 / -	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183-1
Specifické vlastnosti materiálu			
Viskózní číslo	150 / *	cm <sup>2</sup> /g	ISO 307

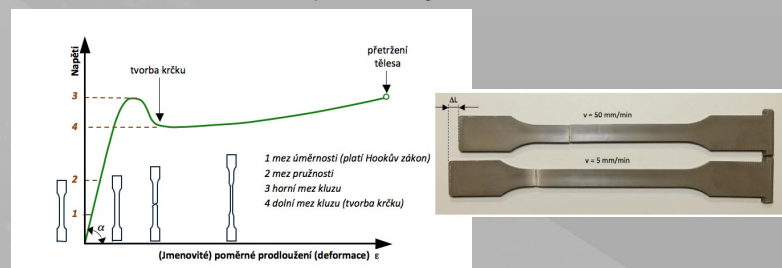
## Index toku taveniny MFI ISO 1133 a ASTM D 1238

- množství taveniny v gramech (MFR) nebo v cm<sup>3</sup> (MVR), které proteče tryskou výtlačného plastometru za 10 minut při definovaných hodnotách teploty a zatížení



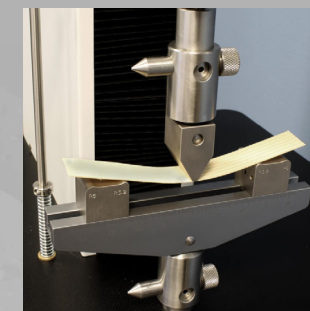
## Mechanické vlastnosti polymerů - - tah

- uchycení zkušebního tělesa do čelistí stroje a zatížení tahem
  - pracovní diagram
  - poměrné prodloužení při přetržení (tažnost)
  - mez pevnosti, mez kluzu (tvorba krčku)
- silná závislost na teplotě a rychlosti zatěžování



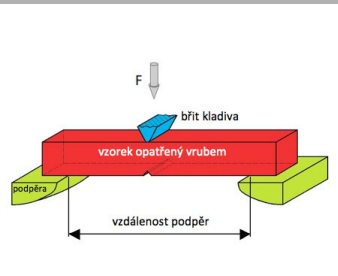
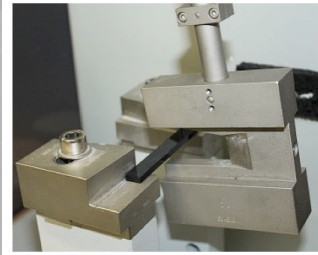
## Mechanické vlastnosti polymerů - - ohyb

- tělesa ve tvaru hranolu
- nevhodné pro elastomery a lehčené plasty



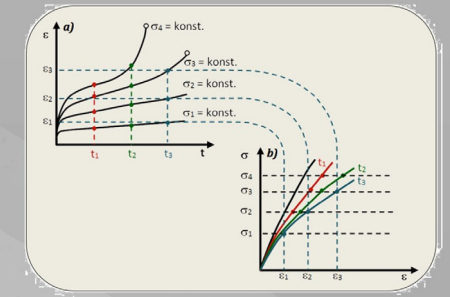
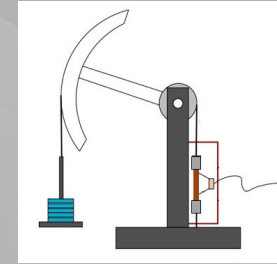
## Rázová a vrubová houževnatost

- kinetická energie kyvadlového rázového kladiva, spotřebovaná na přeražení zkušební tělesa bez vrubu, vztažená na původní plochu jeho příčného průřezu.
- měřítka náchylnosti materiálu k lomu při rázovém namáhání



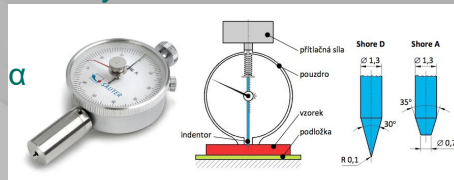
## Dlouhodobé statické zkoušky polymerů – kríповé zkoušky

- dlouhodobé zatěžování (v tahu, ev. v ohybu)
- deformace vlivem dlouhodobě působící síly
- časové změny deformace → kríповé křivky, izochronní křivky, kríповý modul pružnosti



## Tvrdość polymerů

- odpor povrchu materiálu vůči vnikání jiného, tvrdšího materiálu
- vlačování vnikacího tělíska (indentoru) různého tvaru (kuličky, kužele) předepsanou silou do povrchu zkoušeného materiálu
- hloubka vniknutí tělíska do polymeru po definované době a zpravidla **při zatížení**
  - metoda vlačování kuličky
  - metoda Rockwell
  - metoda Rockwell  $\alpha$
  - metoda Shore
  - metoda IRHD



## Dynamické únavové namáhání

- namáhání opakovanými deformacemi → dynamická únava materiálu – únavový lom (křehký lom bez deformací)

Polymer (fa. LPM s.r.o.)	Zkratka	Mez pevnosti v ohybu <sup>1</sup>	Mez únavy při střídavém namáhání v ohybu <sup>2</sup> (N=10 <sup>7</sup> )
Polyetherimid + 30% skleněných vláken	PEI GF30	225	31
Polysulfon	PSU	106	8
Standardní polystyren	PS-GP	103	25
Polyoxymethylen - kopolymer	POM	97	31
Polybutylentereftalát	PBT	85	30
Fenol-formaldehydová pryskyřice	PF	95	28

Poznámka: <sup>1</sup>dle ISO 178, <sup>2</sup>dle ASTM D671

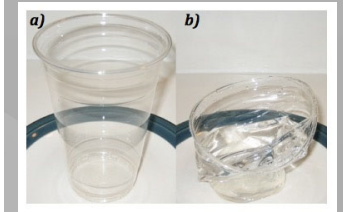
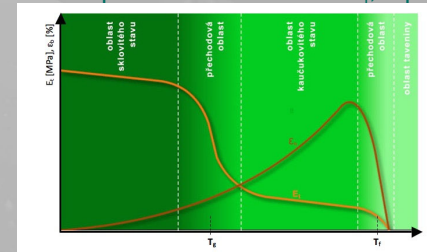


## Tepelné vlastnosti polymerů

- teplotní rozsah použitelnosti polymerů
  - teplota skelného přechodu, teplota tání
  - mezní teplota použitelnosti
- degradace polymerů
- teplotní roztažnost polymerů
- tepelná vodivost polymerů
- měrná tepelná kapacita polymerů
- hořlavost polymerů

## Přechodové teploty polymerů

- v závislosti na teplotě je polymer ve stavu sklovitém, kaučukovitém nebo kapalném
- kaučukovitý stav - pro polymery charakteristický, přechodový stav mezi stavem sklovitým a kapalným
- v určité oblasti teplot se změny vlastností zrychlují a mohou se měnit i skokem → přechodové teploty
  - teplota skelného přechodu  $T_g$
  - teplota viskózního toku  $T_f$ , teplota tání  $T_m$



## Teplotní rozsah použitelnosti polymerů

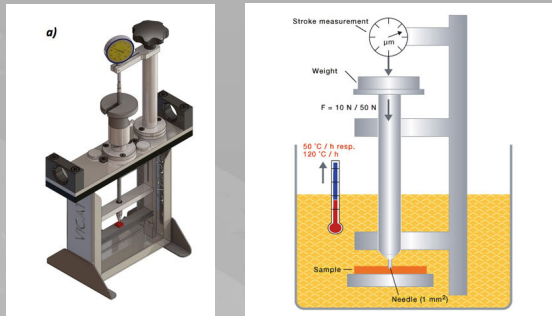
- teplota skelného přechodu, teplota tání
- mezní teplota použitelnosti
  - 50% typických vlastností (tažnost, pevnost) po určité době expozice
- odolnost vůči nízkým teplotám
  - křehnutí, změna tuhosti, rychlost zotavení
- odolnost vůči vysokým teplotám
  - teplota měknutí podle Vicata
  - teplota průhybu při zatížení

Polymer	Struktura	Název	Zkratka	$T_g$ [°C]	$T_m$ [°C]		
TERMOPLAST	semikrystalické	Polyethylen nízkohustotní	PE-LD	-120	105 + 115		
		Polyethylen vysokohustotní	PE-HD	-120	130 + 135		
		Polypropylen	PP	-15	160 + 170		
		Polyoxymethylen	POM	-50	165 + 185		
		Polyamid 6	PA-6	50	215 + 225		
		Polyamid 66	PA-66	50	250 + 260		
		Polyethyltereftalát	PET	75	250 + 260		
		Polybutyltereftalát	PBT	75	225 + 230		
		Polytetrafluorethylen	PTFE	125	340 + 345		
		Polyetheretherketon	PEEK	145	335 + 345		
		VULKANIZOVANÝ ELASTOMER	amorní	Neměkčený polyvinylchlorid	PVC-U	85	-
				Standardní polystyren	PS-GP	95	-
				Akrylonitril-butadien-styren	ABS	105	-
				Styren-akrylonitril-akrylát	SAN	105	-
Akrylonitril-styren-akrylát	ASA			100	-		
Polymethylmetakrylát	PMMA			110	-		
Polykarbonát	PC			150	-		
Polysulfon	PSU			190	-		
Polyimid	PI			>400	-		
REAKTOPLAST	amorní			Přírodní kaučuk	NR	-70	-
		Butadien-styrenový kaučuk	SBR	-50	-		
		Isoprenový kaučuk	IIR	-55	-		
		Butylkaučuk	IIR	-75	-		
		Chloroprenový kaučuk	CR	-40	-		
		Ethylen-propylen-dién-terpolymer	EPDM	-60	-		
		Silikonový kaučuk	Q	-85	-		
		Epoxidová pryskyřice	EP	>75	-		
		Fenol-formaldehýdová pryskyřice	PF	>150	-		
		Novolaková epoxidová pryskyřice		>125	-		
Polyesterová pryskyřice	UP	>60	-				

Přechodové teploty  
některých polymerů

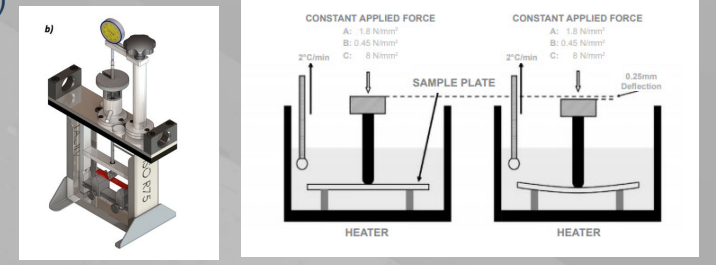
## Teplota měknutí dle Vicata (VST) ČSN EN ISO 306, ČSN EN 727

- teplota, při které se standardní jehla kruhového průřezu s plochým hrotem o ploše 1 mm<sup>2</sup> vtlačí pod povrch zkušební tělesa do hloubky 1 mm
  - vhodná pouze pro termoplasty



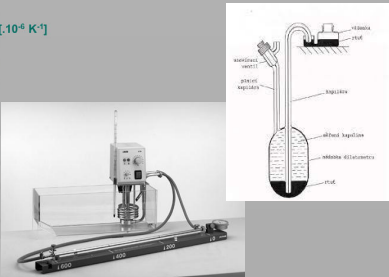
## Teplota průhybu při zatížení (HDT) ČSN EN ISO 75-1, 2

- namáhání zkušební tělesa (hranol) tříbodovým ohybovým zatížením předepsané hodnoty (1,8 MPa, 0,45 MPa, 8,0 MPa)
- zvyšování teploty stálou rychlostí (120 °C/h)
- měří se teplota, při níž zkušební těleso dosáhne smluvního průhybu (přírůstek deformace v ohybu 0,2 %)



## Teplotní roztažnost polymerů

- až o řád vyšší než u kovů
- délková (ČSN 64 0528)
  - měření délkového přírůstku měřeného vzorku v důsledku zvýšení jeho teploty v daném teplotním rozmezí
- objemová
  - měření objemové roztaž. skleněným dilatometrem s obsahem kapaliny - závislost objemu kapaliny se vzorkem na teplotě



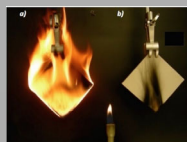
	Polymer	Zkratka	α [K <sup>-1</sup> ]	λ [W/m·K]
Termoplast	Nízkohustotní polyethylen	PE-LD	25·10 <sup>-5</sup>	0,32 + 0,40
	Vysokohustotní polyethylen	PE-HD	20·10 <sup>-5</sup>	0,38 + 0,51
	Polypropylen	PP	(15 + 18) · 10 <sup>-5</sup>	0,17 + 0,22
	Polybutylentereftalát	PBT	6 · 10 <sup>-5</sup>	0,21
	Akrylonitril-butadien-styren	ABS	(6 + 11) · 10 <sup>-5</sup>	0,18
	Standardní polystyren	PS-GP	(6 + 8) · 10 <sup>-5</sup>	0,18
	Polyamid 6	PA-6	(8 + 10) · 10 <sup>-5</sup>	0,29
	Neměkčený polyvinylchlorid	PVC-U	(7 + 8) · 10 <sup>-5</sup>	0,14 + 0,17
	Měkčený polyvinylchlorid	PVC-P	(15 + 21) · 10 <sup>-5</sup>	0,15
	Polykarbonát	PC	(6 + 7) · 10 <sup>-5</sup>	0,21
	Polytetrafluorethylen	PTFE	(10 + 12) · 10 <sup>-5</sup>	0,25
	Lehčené plasty			0,02 + 0,03
	Reakto-plast	Fenoplasty		(3 + 5) · 10 <sup>-5</sup>
Aminoplasty			(5 + 6) · 10 <sup>-5</sup>	0,45
Epoxidová pryskyřice		EP	(1 + 4) · 10 <sup>-5</sup>	0,88
Vulkanizovaný elastomer	Přírodní kaučuk	NR		0,14
	Butadien-akrylonitrilový kaučuk	NBR		0,25
	Butadien-styrenový kaučuk	SBR	(20+40) · 10 <sup>-5</sup>	0,17
	Chloroprenový kaučuk	CR		0,19
	Ethylen-propylenový kaučuk	EPM		0,20
	Silikonové kaučuky	Q	19 · 10 <sup>-5</sup>	0,24
Ostatní	Sklo		0,5 · 10 <sup>-5</sup>	0,6 + 1,2
	Ocel		1,1 · 10 <sup>-5</sup>	50
	Měď		1,65 · 10 <sup>-5</sup>	380

## Hořlavost polymerů

- polymery jsou organické látky – hořlavé

### Metody stanovení hořlavosti:

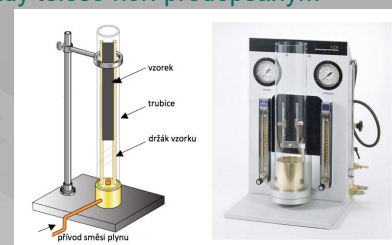
- stanovení kyslíkového čísla OI (Oxygen Index)
  - OI = minimální koncentrace kyslíku ve směsi s dusíkem, při které polymer ještě hoří za předepsaných podmínek
- metoda UL-94



## Stanovení kyslíkového čísla ČSN EN ISO 4589-2

### Měření

- těleso v trubici ze žáruvzdorného skla, kterou proudí směs kyslíku a dusíku
- horní konec tělesa se zapálí
- sledování charakteristik hoření (doba a délka ohořelé části těles)
- různé koncentrace O a N
- OI = koncentrace kyslíku kdy těleso hoří předepsaným způsobem po dobu 180 s



## Kyslíkové číslo polymerů

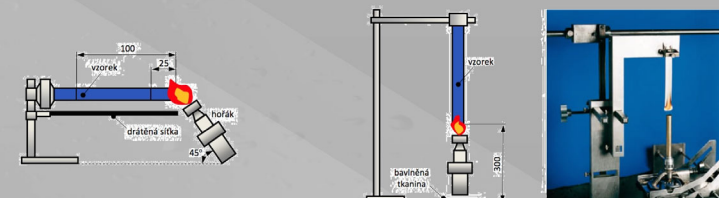
	Polymer	Zkratka	IO [obj. %]
Termoplast	Polyoxymethylen	POM	15
	Polymethylmethakrylát	PMMA	16
	Polyethylen	PE	17
	Polypropylen	PP	17
	Standardní polystyren	PS-GP	18
	Polyethyltereftalát	PET	23
	Polyamid 6	PA-6	23
	Polyamid 66	PA-66	27
	Polykarbonát	PC	28
	Polysulfon	PSU	32
Fenoplasty	Polyetheretherketon	PEEK	35
	Polyetherimid	PEI	47
	Neměkčený polyvinylchlorid	PVC-U	47
	Chlorovaný polyvinylchlorid	PVC-C	65
			35
Vulkanizát	Butadien-styrenový kaučuk	SBR	22
	Ethylen-propylenový kaučuk	EPM	24
	Chloroprenový kaučuk	CR	37
	Methylsilikonový kaučuk s vinylovými skupinami	VMQ	26 + 42

OI < 21  
silně hořlavé

OI > 28  
samozhášivé

## Metoda UL-94 ČSN EN 60695-11-10 ED.2

- pravoúhlé těleso, umístěné svisle nebo vodorovně je vystaveno plameni
- měření samovolné doby hoření, ohořelé délky a odkapávání
  - porovnání výsledků s normovanými kritérii V-0, V-1, V-2
  - výsledky závisí na tloušťce vzorku





**Základy zkoušebnictví**

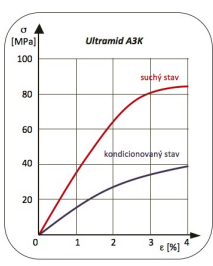
Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Navlhavost polymerů

- schopnost materiálu přijímat vlhkost z okolního prostředí – až do rovnovážného stavu

Navlhavost způsobuje:

- pokles meze pevnosti a modulu
- zvýšení houževnatosti a tažnosti
- zhoršení elektrických izolačních vlastností
- zhoršení odolnosti materiálu vyšším teplotám
- pokles pevnosti svarového spoje
- zvětšení rozměrů výrobku apod.



→ výrobky před zkoušením nutno kondicionovat

- min. 88 hodin v 23 °C a 50 % RH

**Základy zkoušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Stanovení vlhkosti polymerů ČSN EN ISO 15 512

- termogravimetrická metoda
  - vážení postupně zahřívaného vzorku v halogenovém analyzátoru
- extrakce bezvodým metanolem
  - stanovení extrahované vody titrací
- odpaření vody
  - trubková sušárna
- manometrická metoda
  - chem. reakce vody s činidlem (Aquatrac)
    - zvýšení tlaku vznikajícím vodíkem
$$\text{CaH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + 2\text{H}_2$$





**Základy zkoušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Stárnutí polymerů

- atmosférická koroze

**Vlivy:**

- světelné záření (UV)
- působení O<sub>2</sub> a ozonu O<sub>3</sub>
- voda
- teplota
- atmosferické nečistoty
- mikroorganismy

**Změny:**

- změna barvy
- ztráta lesku či průhlednosti
- povrchové praskáním
- pokles mechanických vlastností




odolnost vůči UV záření	PI	LCP PEI PEEK PPS	PC/ABS PPG PET PBT PC PA-12 PA-11 PA-6 PP	POM ABS PA-46 PA-66
excelentní				
dobrá				
nízká				
špatná				

**Základy zkoušebnictví**

Katedra materiálového inženýrství a chemie  
Stavební fakulta ČVUT v Praze

## Zkoušky stárnutí polymerů

- zkoušky přirozeného stárnutí
  - vystavení vzorků povětrnosti
  - sledování změn



Sledovaný faktor	Hodnocení
vnější vzhled ozařované části	ztráta lesku, změna barvy, vznik trhlin, vznik propadlin a nerovnosti, rozvrstvení, eroze vodou, prachem, prasknutí, objevení plísňe
hmota	absolutní či poměrná změna hmoty materiálu, procentuální změna obsahu změkčovadel v polymeru
lineární rozměry	délka, šířka, tloušťka, průměr,...
mechanické vlastnosti	mez pevností v tahu, pevnost v ohybu, rázová houževnatost, tažnost, průtažnost
dielektrické vlastnosti	povrchový izolační odpor, objemový elektrický odpor, ztrátový činitel tgδ, elektrická průrazová pevnost
mechanické vlastnosti ozařovaného povrchu	tvrdost povrchové vrstvy, křehkost povrchové vrstvy (trhliny, praskliny při ohybu zkušební tělesa)

- zkoušky zrychleného stárnutí
  - umělé zesílení faktoru stárnutí, např. stárnutí v kyslíku, st. pryže v horkém vzduchu....



## Zkoušky stárnutí polymerů ve veterometru

- vystavení vzorků cyklickému působení UV a IR záření + vody + ev. změnám teploty

