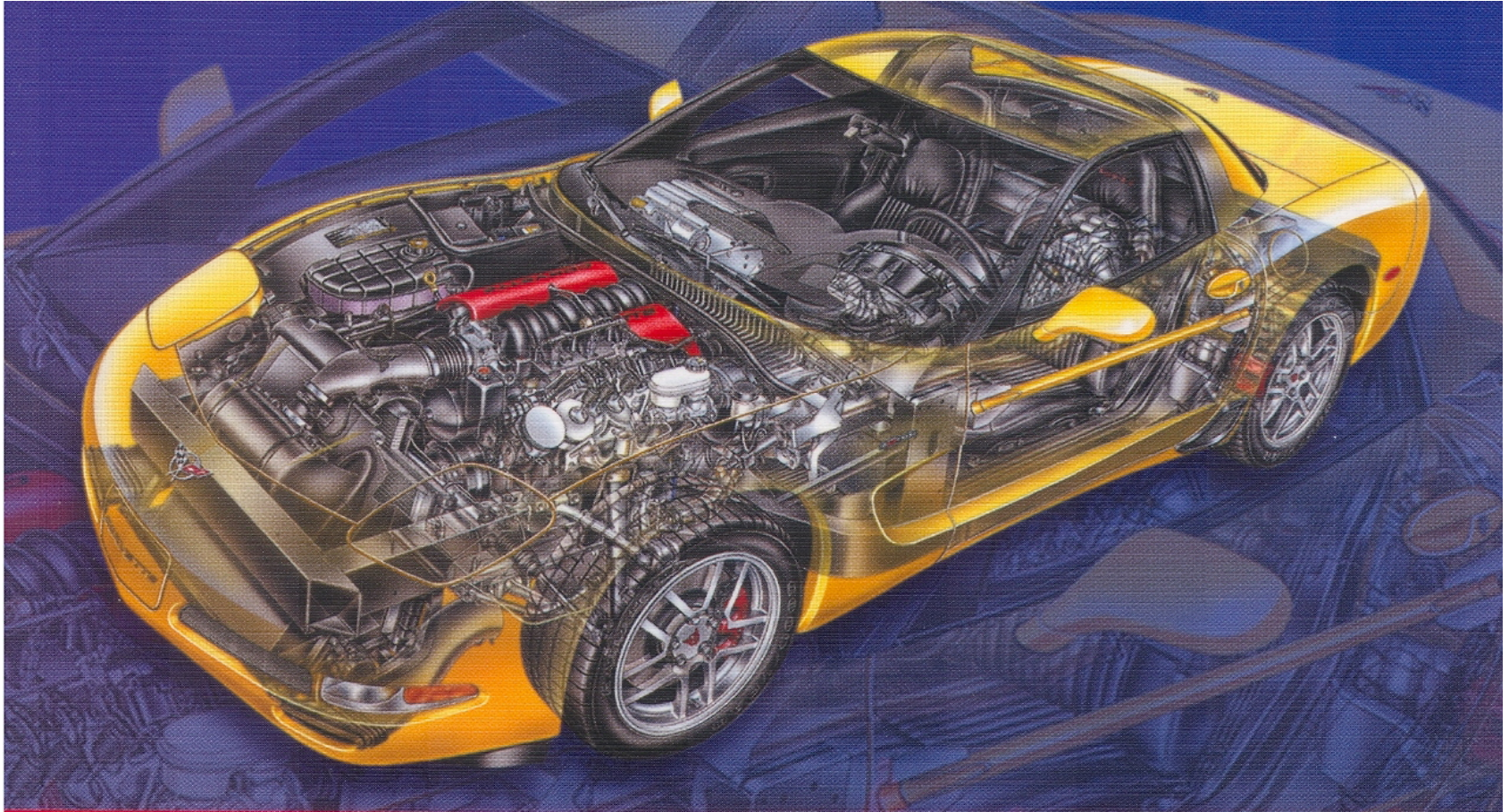


# Školení CADENCE - ÚVV 2006



# Plasty - obecně

- makromolekulární látky o molekulové hmotnosti větší než 10000
  - organické sloučeniny
  - připravují se **polyreakcemi**
- polymerace,  
polykondenzace,  
polyadice

monomer → polymer

etylén → polyetylén

- homopolymer
- kopolymer
- terpolymer
- multipolymer

# Plasty – rozdělení podle chování při zahřívání

*termoplasty* - při zahřívání přecházejí do plastického stavu, do stavu vysoce viskózních neneutronovských kapalin, kde je lze snadno tvářet a zpracovávat různými technologiemi, do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu měknutí  $T_m$  (semikrystalické plasty), resp. teplotu viskózního toku  $T_f$  (amorfní plasty), při zahřívání nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, jedná se pouze o fyzikální reakci. PE, PP, PS, PVC, PA, apod.

*reaktoplasty* - v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu, během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury (výrobek je možno považovat za jednu velkou makromolekulu), k tzv. *vytvrzování*, tento děj je nevratný a vytvrzené plasty nelze roztavit ani rozpustit, dalším zahříváním dojde k rozkladu hmoty (degradaci), ochlazování reaktoplastů probíhá mimo nástroj PF, UF, EP, apod.

*kaučuky, pryže a elastomery* - v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury, probíhá tzv. vulkanizace.

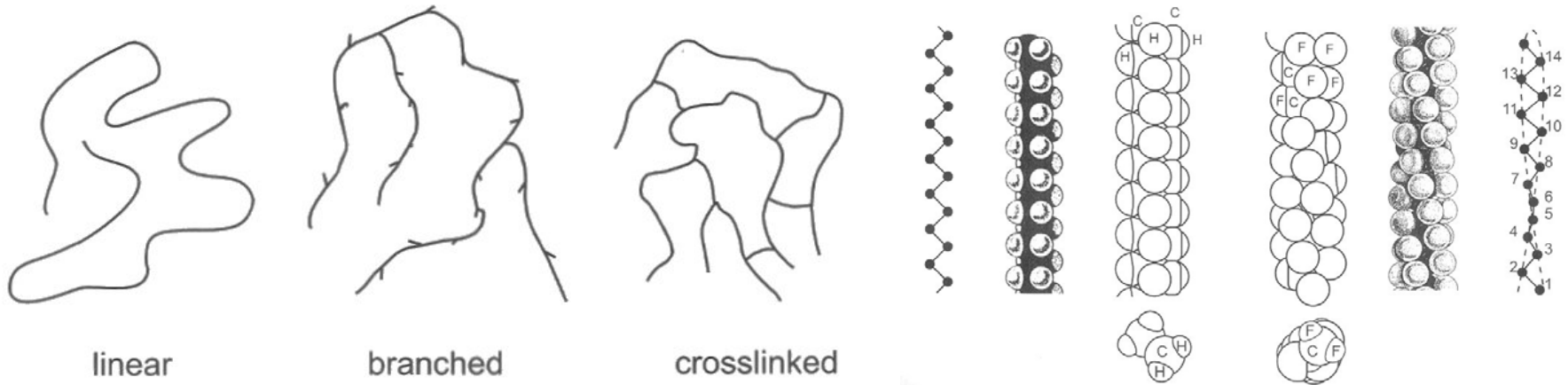
# Struktura plastů – tvar makromolekul

*lineární makromolekuly* vznikají tak, že se monomerní molekuly řadí jedna vedle druhé „jako korálky na šňůře perel“. Z termodynamických důvodů nemají tvar rovné nitky, jsou stočeny do spirály, či klubíčka. Lineární makromolekuly se mohou z prostorových důvodů více přiblížit jedna ke druhé a vyplnit tak kompaktnější prostor. Polymery tak mají vyšší hustotu. Lineární makromolekuly také snáze vytvářejí prostorově pravidelné shluky krystalických struktur, mají vyšší obsah krystalických podílů. Plasty s lineárními makromolekulami jsou obvykle dobře rozpustné a tavitelné (dobrá pohyblivost makromolekul), v tuhém stavu se vyznačují houževnatostí a ve formě tavenin dobrou zpracovatelností.

*rozvětvené makromolekuly* se vyznačují tím, že mají na základním řetězci boční větve („přívěsek na šňůře perel“). Rozvětvené makromolekuly se nemohou v důsledku bočních větví jedna ke druhé dostatečně přiblížit. Proto se vyznačují nižší hodnotou hustoty. Uspořádanost jejich shluků je nízká a tudíž hůře krystalizují a mají tedy i nižší stupeň krystalinity. Rozvětvení zhoršuje i pohyblivost makromolekul a tekutost v roztaveném stavu. Boční řetězce, které způsobují oddálení sousedních makromolekul mají za následek pokles mezimolekulárních sil a tím zhoršení většiny mechanických vlastností.

*zesíťované makromolekuly* - v tomto případě je několik přímých nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců mezi sebou propojeno vazbami, takže vytvářejí jednu takřka nekonečnou makromolekulu - prostorovou síť. Takováto síť vede ke ztrátě tavitelnosti a rozpustnosti polymeru. Polymery vykazují vysokou tvrdost, tuhost a odolnost proti zvýšené teplotě, avšak nízkou odolnost proti rázovému namáhání. Sítě mohou být řídké (charakteristické pro elastomerní kaučukovité polymery) nebo husté (reaktoplasty).

# Struktura plastů – tvar makromolekul



PE Type	Molecular Structure (schematic)	Degree of Branching per 1,000 C-Atoms	Degree of Crystallinity [%]	Melting (Crystallization) Range [°C]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]	Strength	Elongation, Toughness	Max. Use Temperature [°C]
PE-LD		high, 20-40 long and short chain branches	40 - 55	100 - 110 (80 - 95)	0.915 - 0.935	low	high	ca. 90
PE-LLD		middle, 15-30 short chain branches up to 6 C-atoms	55 - 65	120 - 130 (105 - 115)	0.92 - 0.94	middle	medium, locally very high	ca. 95
PE-HD		low, 1-10 short chain branches from 1-2 C-atoms	70 - 75	125 - 135 (115 - 120)	0.93 - 0.97	high	low	ca. 100

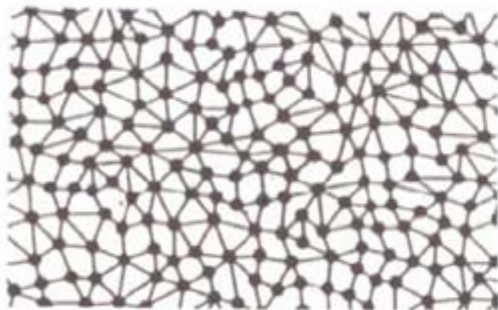
# Struktura plastů – molekulární struktura plastů



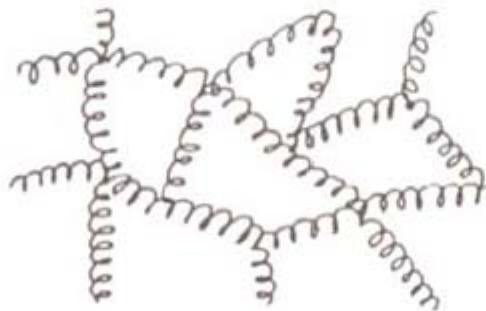
amorfní termoplast



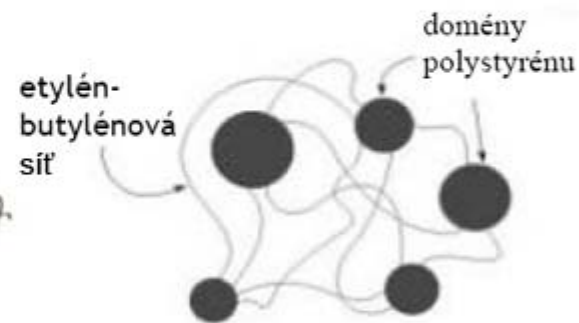
semikrystalický termoplast



reaktoplast



elastomer



termoplastický elastomer  
na příkladě SEBS

Nadmolekulární struktura polymerů

# Struktura plastů – nadmolekulární struktura

- značný vliv na vlastnosti plastu
- termoplasty mohou mít amorfni nebo semikrystalickou nadmolekulární strukturu, reaktoplasty pouze strukturu amorfni.

*amorfni struktura* je struktura bez jakékoliv uspořádanosti (struktura chaotická). Základním morfologickým útvarem této struktury jsou globuly (nebo-li klubíčka) o velikosti 10 ÷ 30 nm, které jsou vytvořeny z chaoticky stočených makromolekul. Globuly představují nejnižší stupeň uspořádanosti makromolekul. Mohou se sice uspořádat pravidelně jako celek, přesto si ale každá globula zachovává individuální charakter.

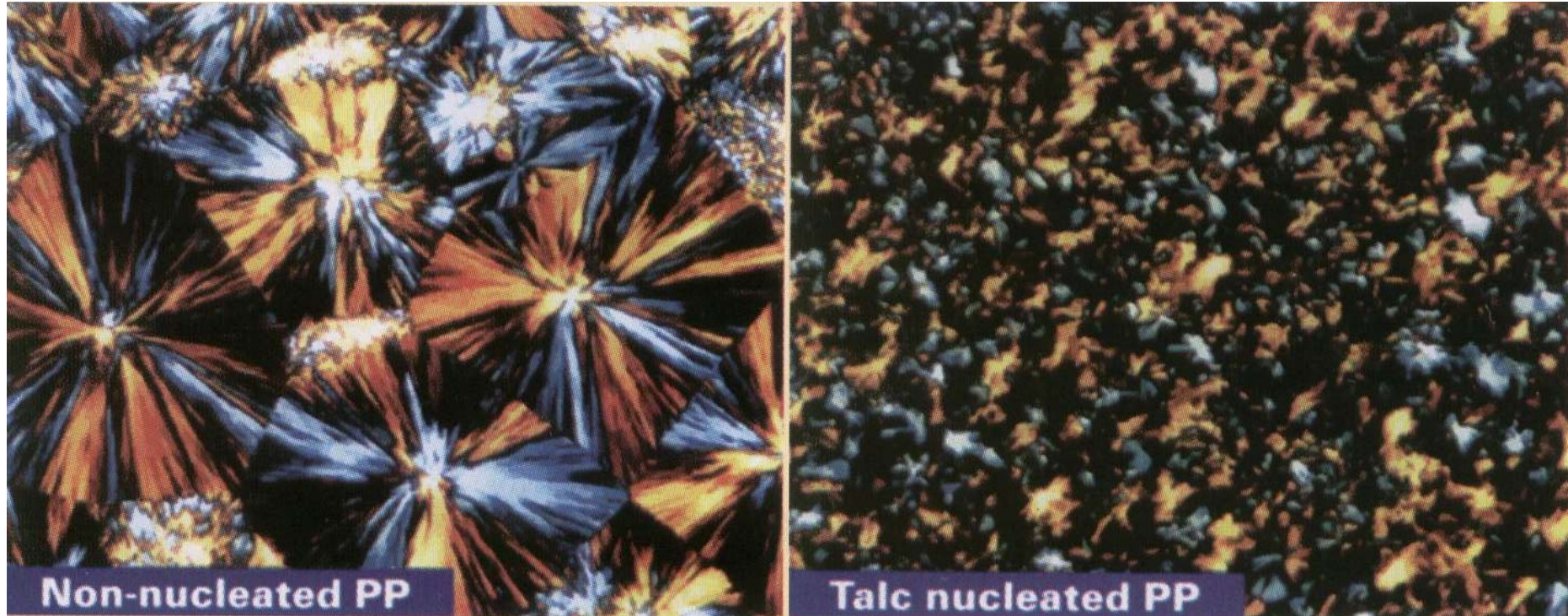
*krystalická struktura* (semikrystalická) se vyznačuje určitým stupněm uspořádanosti. Základním morfologickým útvarem této struktury jsou tzv. lamely o velikosti 7 až 14 nm. Lamela je složena z jednotlivých proužků, ohýbaných střídavě o 180 °C, přičemž jeden proužek odpovídá jedné makromolekule. Fibrily jsou dalším útvarem do nichž se mohou proužky sdružovat, u nich však převládá jeden rozměr nad ostatními. U reálných výrobků se při tuhnutí z tavenin polymerů vytvářejí polykrystalické útvary nazývané sférolity (viz. obr. 6). Jedná se o shluky lamel, které vychází ze společného centra a rozrůstají se na všechny strany, často jsou vrtulovitě stočené. V polarizovaném světle se nám jeví jako tzv. tmavé maltézské kříže.

# Struktura plastů - krystalizace

- *krystalizace* se nezúčastní veškerá polymerní hmota, ale krystalizuje jen určité procento polymeru - část polymeru je krystalická, zbylá část zůstává v amorfním stavu ⇒ semikrystalický polymer
- *stupeň krystalinity* udává míru uspořádanosti, relativní podíl krystalických oblastí ve hmotě, ale také třeba i hustotu
- pro vznik semikrystalické struktury je nutná tvorba krystalizačních zárodků ⇒ tzv. *nukleace*, na nichž teprve poté rostou krystality. K nukleaci dochází při ochlazování taveniny, která má amorfní strukturu.
- *doba nukleace* - má-li se dosáhnout jemnozrné struktury, musí krystalizace probíhat při takové teplotě, kdy se tvoří velké množství zárodků. Má-li výrobek vykazovat co nejlepší mechanické vlastnosti, je nutno řídit krystalizaci tak, aby bylo dosaženo nejen co nejvyššího stupně krystalinity, ale také současně jemnozrné struktury.
- *primární krystalizace* - krystalizace spojená s přeměnou fáze (polymer přechází ze stavu kapalného do tuhého).
- *sekundární krystalizace* – pokračování krystalizace ve stavu tuhém (často i během několika měsíců. Jsou s ní spojeny nejen změny rozměrů, ale i vlastností výrobků.
- podmínky tuhnutí nejsou ve všech částech výrobku stejné a krystalizace je nerovnoměrná. Z technologického hlediska vzniká nestejnorodý, anizotropní materiál. Polymer chladne nejprve u stěny formy, naopak nejdéle chladne a zůstává v tekutém stavu uprostřed dutiny formy, tedy v jádru tělesa (u semikrystalických plastů je tak v jádru největší stupeň krystalinity, ve slupce tělesa naopak nejmenší). Tyto rozdílné podmínky vedou ke strukturálnímu rozlišení mezi povrchem a jádrem tělesa.



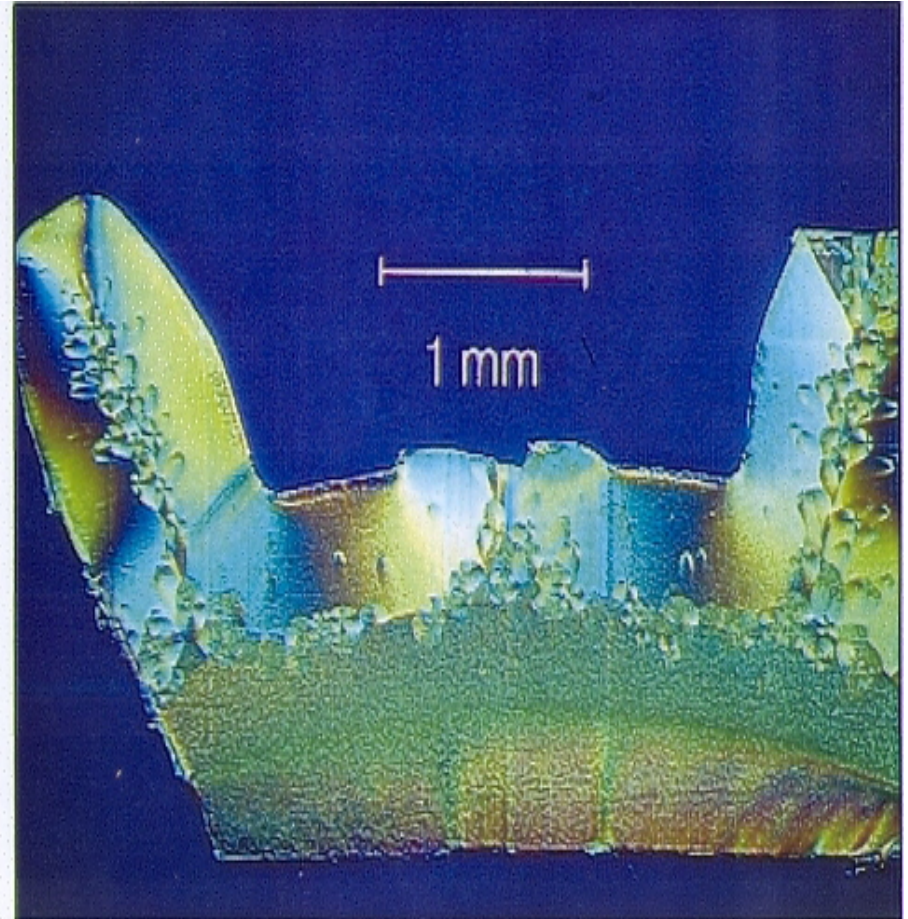
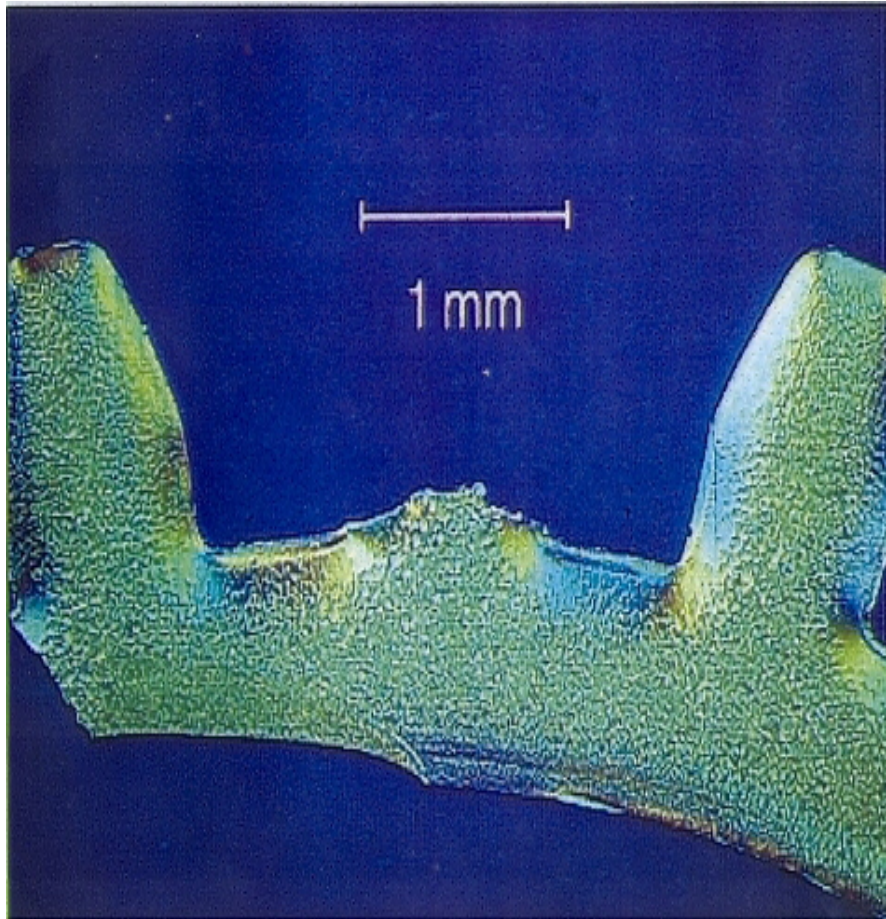
# Struktura plastů – krystalizace nukleace



Stupeň krystalinity v semikrystalickém plastu (PP)

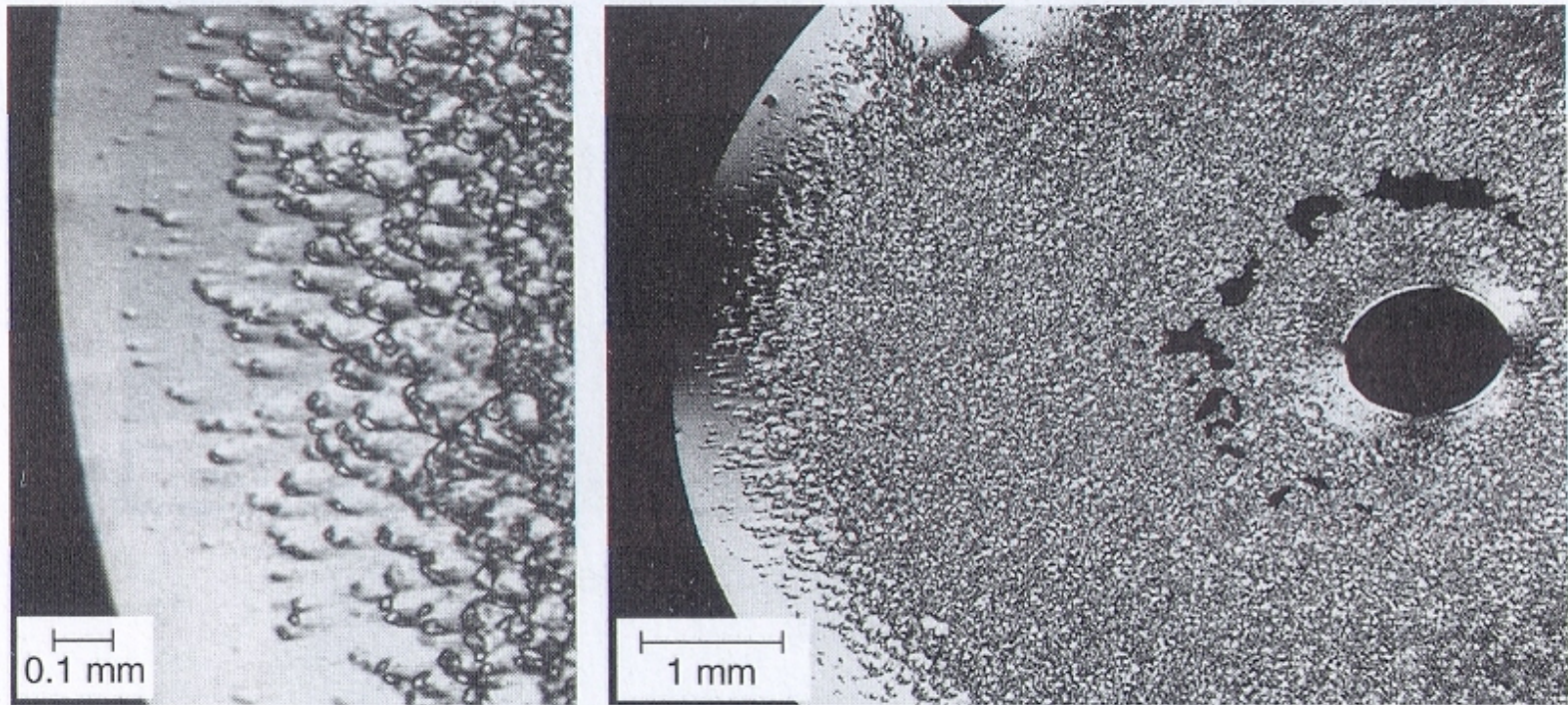
vlevo - bez nukleárního činidla – maltézské kříže, vpravo - talek jako nukleární činidlo

# Struktura plastů - krystalizace



amorfní vs. krystalická struktura

# Struktura plastů - krystalizace



.28: Cross-section of a snap-button made of polyoxymethylene (POM) showing abraded edges and voids. On the left is an enlarged section (Microtome section, ~ 0.01 mm thick, in polarized light)

amorfní vs. krystalická struktura (POM)

# Struktura plastů – krystalizace

## vliv na hustotu

Polymeric Material	Characteristic Degree of Crystallinity [%]	Density [g/cm <sup>3</sup> ]		
		$\rho_k$ crystalline	$\rho_a$ amorphous	$\rho$ typical
polyamide (PA 66)	35 – 45	1.24	1.07	1.14
polyamide (PA 6)		1.23	1.08	1.14
polyoxymethylene (POM)	70 – 80	1.54	1.25	1.41
polyethylene terephthalate (PET)	30 – 40	1.50	1.33	1.38
polybutylene terephthalate (PBT)	40 – 50	-	-	1.3
polytetrafluoroethylene (PTFE)	60 – 80	2.35	2.00	2.1
isotactic polypropylene (PP)	70 – 80	0.95	0.85	0.905
atactic polypropylene (PP)	50 – 60	0.95	0.85	0.896
high-density polyethylene (PE-HD)	70 – 80	1.0	0.85	0.95
low-density polyethylene (PE-LD)	45 – 55	1.0	0.85	0.92

# Plasty – rozdělení podle přísad

*neplněné* plasty - neplněný plast je takový plast, u kterého množství přísad neovlivňuje vlastnosti polymerní matrice.

*plněné* plasty – plnivo ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti plastu. Makromolekulární látka plní funkci pojiva a určuje základní fyzikální a mechanické vlastnosti hmoty.

- změna procesu tečení, změna procesu smrštění

Přísadou mohou být plniva, stabilizátory, maziva, barviva, změkčovadla, iniciátory a urychlovače, nadouvadla, tvrdidla, retardéry hoření, apod.

Plniva zlepšují buď mechanické vlastnosti materiálu, nebo chemickou odolnost či tvarovou stálost při zvýšené teplotě, jiné prostě jen hmotu zlevňují.

- vyztužující a nevyztužující plniva

- jednodimensionální, dvoudimensionální a třídimensionální plniva

# Aditiva, plniva, přísady

**DŮVODY POUŽITÍ:** - odstranění nedostatků plastů, zlepšení zpracovatelských vlastností

- hořlavost
- vznik elektrostatického náboje na povrchu plastů
- malá odolnost vůči degradaci
- malá houževnatost
- malá tvrdost
- omezená odolnost vůči chemikáliím
- malá tvrdost za tepla
- nevhodné optické vlastnosti ... apod.

**DĚLENÍ DLE ÚČINKU:**

- 1) Přísady modifikující fyzikální vlastnosti plastů
- 2) Přísady s ochranným účinkem vůči degračním procesům

**DĚLENÍ DLE FYZIKÁLNÍHO HLEDISKA:**

- 1) pevné
- 2) kapalné
- 3) gemy
- 4) plyny

**DĚLENÍ DLE VÝSLEDNÉHO POŽADOVANÉHO EFEKTU:**


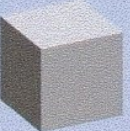



- 1) plniva
- 2) změkčovadla a plastifikátory
- 3) mazadla a přísady zvyšující tekutost
- 4) stabilizátory
- 5) retardéry hoření
- 6) barviva (efekty: transparentní, translucenční, fluorescentní, metalické, leklé, tmavé, ...)
- 7) nadouvadla aj.

**POŽADAVKY**

- zajišťovat stabilitu při provozních podmínkách
- účinnost
- neprozačování na povrch výrobku
- bez chuti, zápachu a netoxické
- bez nežádoucích vlivů na vlastnosti polymeru
- ...
- snížení hmotnosti
- ekonomická úspora
- urychlování reakcí

# Přísady a jejich rozdělení

K plnění plastů, tedy polymerní matrice, je používáno mnoho materiálů, jako je např. sklo, uhlík, atd. a také rozličné tvary nevyztužujících nebo vyztužujících přísad. Jako plniva v polymerních matricích mohou být použity materiály globulárního nebo vločkovitého tvaru, resp. jiných tvarů  $\Rightarrow$  jednodimensionální, dvoudimensionální nebo třídimensionální tvar plniva.

					
Shape	Sphere	Cube	Cuboid	Platelet	Fibre
Aspect	1	~1	1.4-4	5-100	>10
Examples	Glass spheres Silicate spheres	CaCO <sub>3</sub> CaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub> BaSO <sub>4</sub>	Mica Talc Kaolin Graphite Al(OH) <sub>3</sub>	Glass fibres Asbestos Wollastonite Cellulose fibres Carbon fibres

# Přísady a jejich rozdělení

V posledních letech se vyvíjejí nové kompozitní materiály, ve kterých se, kromě již hojně používaných přísad, používají buď vlákna o „velké“ délce – *dlohovláknové kompozity*, a nebo naopak částice o rozměru menším nebo rovném 1 nm - *nanokompozity*, nebo částice o rozměru kolem 1  $\mu\text{m}$  – *mikrokompozity*.

- nanokompozit  $\Rightarrow$  10 nm

- kompozit s minerálním plnivem  $\Rightarrow$  0,5  $\mu\text{m}$

- kompozit s krátkými vlákny  $\Rightarrow$  délka 1,5  $\mu\text{m}$  a 15  $\mu\text{m}$  průměr

- kompozit s dlouhými vlákny  $\Rightarrow$  délka 50  $\mu\text{m}$



# Plniva

Typ plniva	Původ plniva	Funkce	Aplikace
<b>M I N E R Á L N Í P L N I V A</b>	Křída	<b>Snižuje:</b> náklady, smršťení, stárnutí <b>Zlepšení:</b> tuhosti, tepelné stability	PP, PE, PVC, UP
	Talek	<b>Snižuje:</b> náklady, snižuje rozdíly ve smršťení, stárnutí <b>Zlepšení:</b> tuhosti, tepelné stability, proznačování bílých skvm na povrchu	PP, PE, ...
	Slída	<b>Snižuje:</b> náklady, smršťení, stárnutí <b>Zlepšení:</b> tuhosti a tvrdosti, tepelné stability, elektrické vlastnosti	PP, UP, PUR
	Kaolin	<b>zlepšuje technologické podmínky reaktoplastů</b>	
	Draslík - Titan	<b>zlepšení: rozměrové stability, snížení času cyklu</b>	
	Sklo	<b>Snižuje:</b> rozdíly ve smršťení <b>Zlepšení:</b> tuhosti, tepelné stability, povrchu dílů	termoplasty reaktoplasty
	Křemík	<b>Snižuje:</b> smršťení ve formě	reaktoplasty
	Vlna sklo, kamen /	<b>Snižuje:</b> nasákavost vody <b>Zlepšení:</b> tepelných a dialektrických vlastností	PE, PP, PVC, PA
	Barium Ferrite	<b>Zlepšení: magnetické vlastnosti</b>	PVC
	Barium sulfát	<b>Zvýšení hustoty</b>	
<b>Organická plniva</b>	PTFE	<b>Zlepšení koeficientu tření</b>	
	Elastomerní prášek	<b>Zlepšení: rázové houževnatosti termoplastů a elastomerů</b>	PP, PA, PBT
	Dřevěnné plnivo	<b>Snižuje:</b> smršťení <b>Zlepšení:</b> tepelných a dialektrických vlastností	reaktoplasty
	Škrob	<b>Zlepšení: biologické recyklace</b>	PE, PVAC
<b>Kovová plniva</b>	Hliník, měď, zinek, nikl, bronz, ocel	<b>Materiály se stávají vodivé</b>	PP, POM, PA
<b>Jíl</b>	2-5% odpovídá cca 20-30% talku nebo křídý používá se spíše u nanokompozitů		
<b>Obilí</b>	3-50%		
<b>Len</b>	používá se v PP pro zvýšení		
<b>Hedvábí</b>	zlepšuje zpracování a odolnost proti ohni		

Vytuzující plniva		
TYP	TVAR	APLIKACE
<b>Sklo</b>	krátká vlákna	termoplasty a reaktoplasty
	dlouhá vlákna	termoplasty a reaktoplasty
	nekonečné vlákno	reaktoplasty, kompozity
	tkanina	reaktoplasty, kompozity
<b>Uhlík</b>	krátká vlákna	termoplasty
	tkanina	reaktoplasty, kompozity
	nekonečné vlákno	reaktoplasty, kompozity
<b>Aramidová vlákna</b>	tkanina nekonečné vlákno	reaktoplasty, kompozity
<b>Kovová vlákna</b>	krátká vlákna	termoplasty
<b>Výhody:</b>	zlepšení mechanických vlastností polymerů, tepelná a	
<b>Nevýhody:</b>	Anizotropie, zvýšení hustoty, zvýšené náklady,	

# Kompozity

**Složené heterogenní systémy tvořené minimálně dvěma fázemi, obvykle rozdílného chemického složení, které se liší svými fyzikálními a mechanickými vlastnostmi.**

**Matrice**- tvoří spojitou fázi.

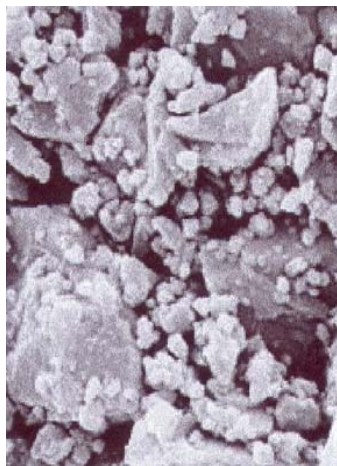
**Plnivo** - tvoří nespojitou fázi, tvořenou částicemi rozmanitého tvaru. /kulovitý, vláknový, destičkový/

**Členění kompozitů:**

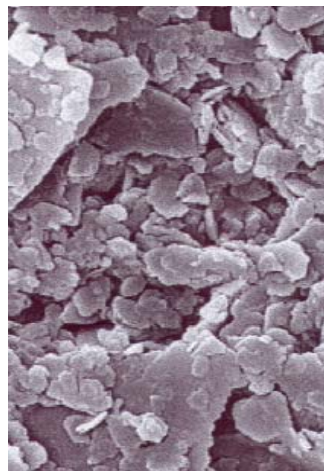
- 1. Podle povahy matrice na kompozity s kovovou, polymerní a silikátovou (keramickou ) matricí.**
- 2. Podle geometrického tvaru plniva na kompozity s částicovými a vláknovými plnivy.**

$$\sigma_K = \sigma_m V_m + \sigma_{pl} V_{pl}$$

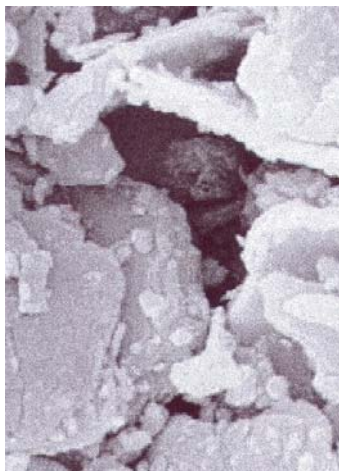
# Struktura plněných plastů



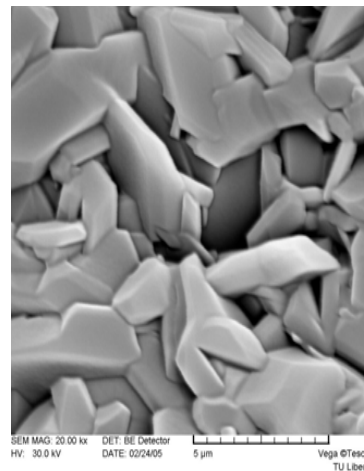
$\text{CaCO}_3$   
nanokompozit



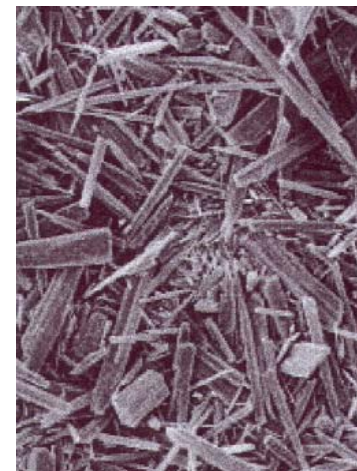
kaolin



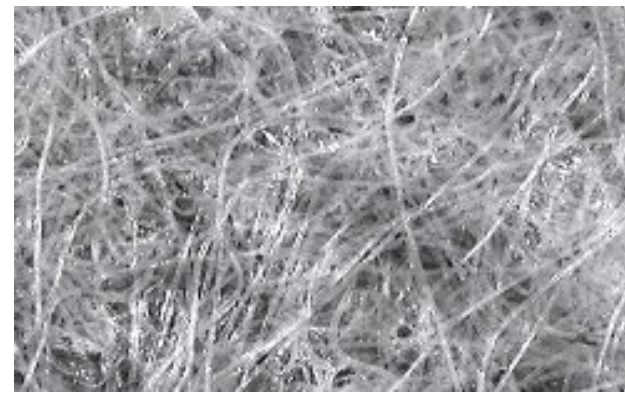
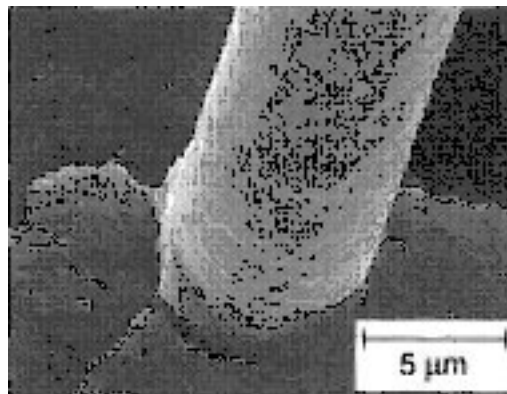
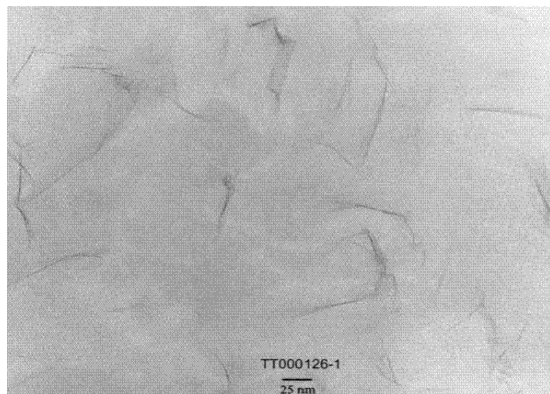
křída  
krátká skelná vlákna



talek  
dlouhá skelná vlákna



kovové částice



# Vyztužené plasty – dlouhá vlákna



vlevo – způsob výroby PP s dlouhými vlákny

vpravo – struktury PP s dlouhými vlákny

dole - granulát



Pevnost v tahu /MPa/	Rázová houževnatost /kJ.m <sup>-2</sup> /	Poznámka (PP matrice)	Povrchová struktura
79,65	55,59	30% sklen. vláken	
24,28	23,29	100% Inu	
34,43	22,01	50% Inu, 50% sisalu	
17,24	16,84	20% PES, 30% lýka	
18,42	10,33	30% konopí, 30% bamb. vl.	

# Přísady

Přísady <10% zlepšující vlastnosti plastů		
<b>Teplotní stabilizátory</b>	ke snížení tepelné degradace během procesu	<i>stearáty, sojový olej s epoxidovou pryskyřicí</i>
<b>Antioxidanty</b>	ke snížení tepelné oxidace během procesu a v aplikacích	<i>Fenoly, uhlík, fosfáty amíny</i>
<b>UV stabilizátory</b>	ke snížení degradace způsobené UV zářením	<i>saze, UV stabilizátory: benzofenony, saliciláty, multifunkční stabilizátory</i>
<b>Pigmenty</b>	barví plasty	pigmenty rozpustné v polymeru: <i>Azo barvy, ...</i> pigmenty nerozpustné v polymeru: <i>titanová běloba, ZnO</i>

<b>Antistatika</b>	ke snížení tepelné degradace během procesu	<i>Amíny, estery alkoholů, organické fosfáty, saze, kovové prášky</i>
<b>Retardery hoření</b>	k zabránění hoření, nebo ke zpomalení procesu hoření	<i>hliníkové hydráty, halogenové deriváty, oxid animonu,</i>
<b>Lubrikanty</b>	zlepšení procesu	<i>vápník nebo stearát zinku, parafin</i>
<b>Nadouvadla</b>	snížení hustoty	<i>pentan, kyselina citronová, soda</i>
<b>Bakterie</b>	zabránění útoku žijícími organismy.	<i>fenoly, ftalamidy</i>

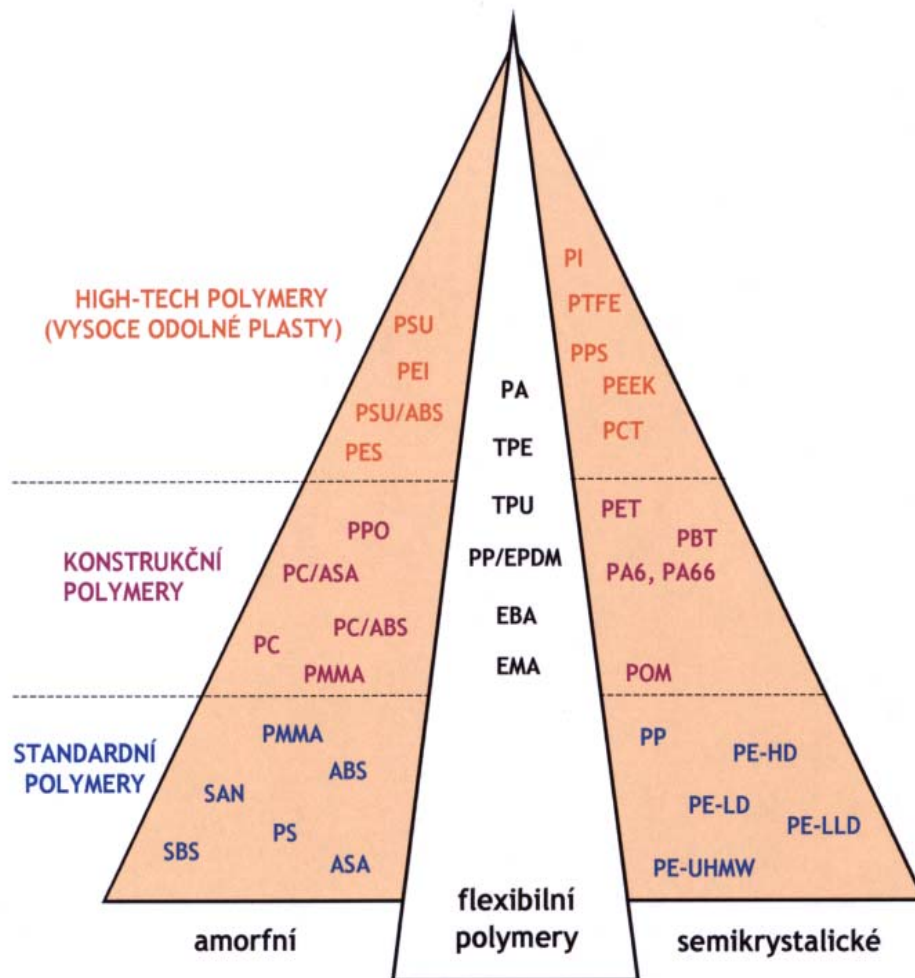
# Plasty – ostatní rozdělení

Podle **polarity** na:

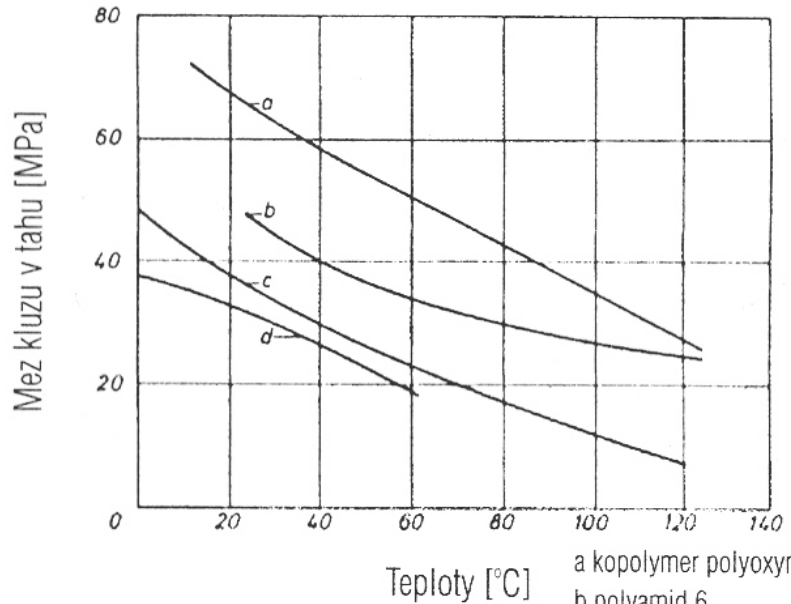
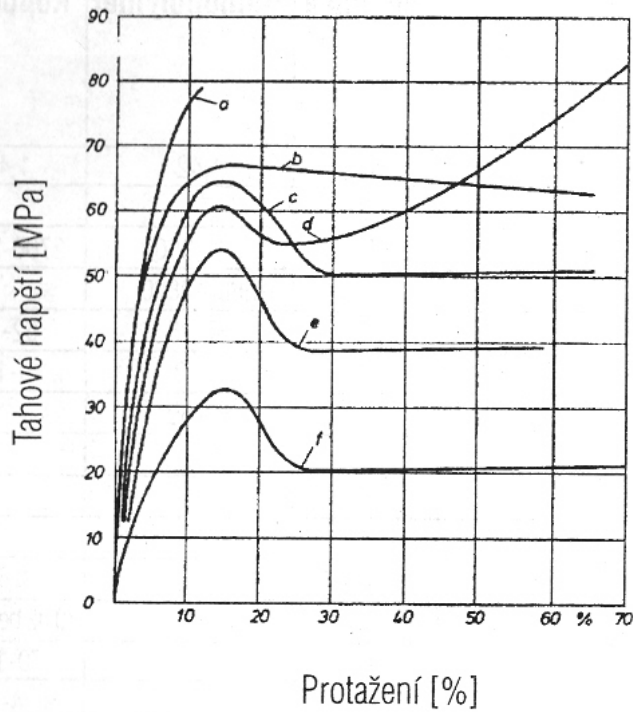
*polární plasty* – mají trvalý dipól a mezi polární plasty patří PA, některé pryskyřice, apod.

*nepolární plasty* – nemají trvalý dipól a patří sem PE, PP, PS, atd

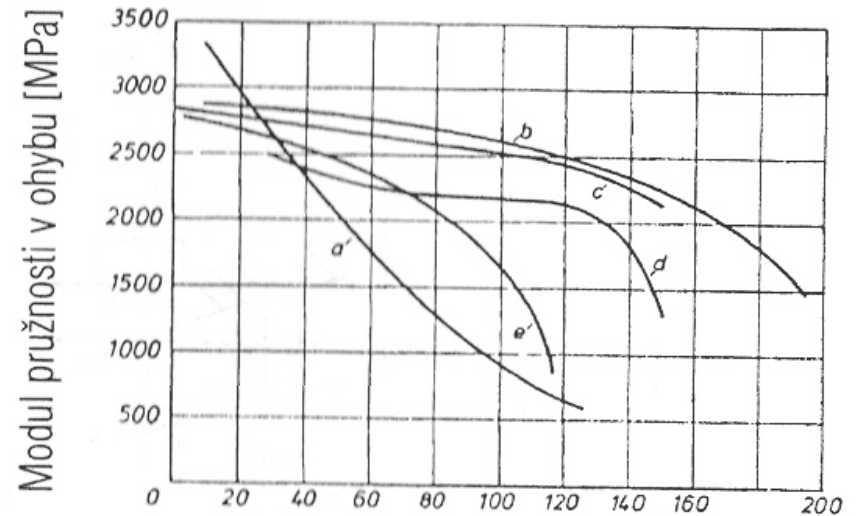
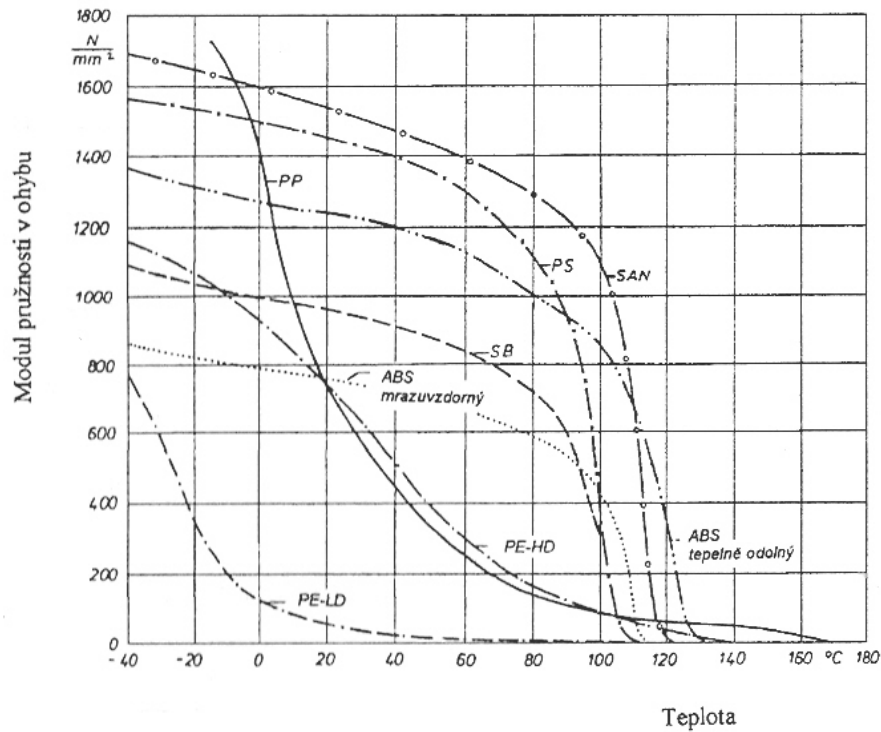
⇒ Vliv na adhezi, povrchové napětí



# Plasty – porovnání - tah



# Plasty – porovnání - ohyb



- a polyoxymethén
- b polysulfon
- c polyfenylénoxid
- d polykarbonát
- e ABS



# PP – výhody a nevýhody

- Výhodná kombinace ceny a užitečných vlastností
- Nárůst spotřeby v důsledku nových kopolymerů a kompozitů
- Má velmi nízkou hustotu
- Vyšší teplotní odolnost a tvarovou stálost proti PE
- Málo náchylné ke korozi za napětí, podléhají však oxidaci
- Bod bodem mrazu homopolymer křehne
- Vlastnosti závisí na poměru a uspořádání monomerů
- Nepolární plast
- Přítomnost metylové skupiny v polypropylénu (PP) způsobuje, že polypropylén má vyšší bod tání a větší pevnost než PE. Obvykle se používá ve své izotaktické, vysoce krystalické formě.

# PP – vlastnosti

**Polypropylén** (PP) se vlastnostmi značně blíží lineárnímu polyetylénu, i když asi obsahuje jen 50 % krystalické fáze. Je lehčí než polyetylén a jeho hustota a je vůbec nejlehčí polymer. Hustota polypropylenu je  $910 \text{ kg.m}^{-3}$ . Pevností v tahu, která je až 38 MPa a modulem pružnosti (až 1600 MPa) předčí polyetylén. Snáší také vyšší teploty, až kolem 120 °C, protože taje při teplotě 160 až 170 °C. Při standardní pokojové teplotě je jeho rázová a vrubová houževnatost přibližně stejná jako u HDPE, ale při teplotách nižších, nežli 0 °C se stává křehkým. Elektrické vlastnosti jsou jen nepatrně horší, než u nízkotlakého polyetylénu (HDPE), chemická odolnost je srovnatelná. Dobře odolává kyselinám, zásadám a za normální teploty i organickým rozpouštědům. Odolností proti korozi značně předčí HDPE. Účinkům povětrnosti neodolává, křehne. Výrobky se vyznačují větší průhledností, než polyetylén.

N á z e v	<b>p o l y p r o p y l é n</b>			Z k r a t k a	<b>P P</b>
Z p ů s o b v ý r o b y:	<b>p o l y m e r a c e</b>	N a d m o l e k u l á r n í s t r u k t u r a:	<b>s e m i k r y s t a l i c k ý</b>		
<i>F y z i k á l n í v l a s t n o s t i:</i>					
<i>h u s t o t a:</i>	<b>9 1 0 k g . m <sup>-3</sup></b>	<i>s t u p e ň k r y s t a l i n i t y:</i>	<b>5 0 %</b>	<i>s m r š t ě n í</i>	<b>1 - 2 , 5 %</b>
<i>M e c h a n i c k é v l a s t n o s t i:</i>					
<i>m o d u l p r u ž n o s t i:</i>	<b>1 6 0 0 M P a</b>		<i>p e v n o s t v t a h u:</i>	<b>a ž 3 8 M P a</b>	
<i>T e p l o t n í a t e p e l n é v l a s t n o s t i:</i>					
<i>t e p l o t a z e s k e l n ě n í:</i>	<b>m i n u s 1 0 ° C</b>		<i>t e p l o t a t á n í:</i>	<b>1 6 0 - 1 7 0 ° C</b>	
<i>t e p l o t a t v a r o v é s t á l o s t i:</i>	<b>c c a 1 0 0 ° C</b>		<i>s u š e n í:</i>	<b>n e</b>	
<i>E l e k t r i c k é v l a s t n o s t i:</i>					
<b>v ý b o r n é d i e l e k t r i c k é a e l e k t r o i z o l a č n í v l a s t n o s t i</b>					
<i>C h e m i c k á o d o l n o s t:</i>					
<b>o d o l á v á k y s e l i n á m , z á s a d á m a z a n o r m á l n í T o r g a n i c k ý m r o z p o u š t ě d l ů m</b>					
<i>Z k o u š k a p l a m e n e m:</i>					
<i>b a r v a p l a m e n e:</i>	<b>ž l u t ý</b>	<i>d ý m:</i>	<b>b í l ý</b>	<i>o s t a t n í:</i>	<b>p o s v í č c e</b>
<i>O s t a t n í</i>					
<b>n e o d o l á v á ú č i n k ů m p o v ě t r n o s t i, k ř e h n e</b>					
<i>O b l a s t i p o u ž í t í</i>					
<b>v s t ř i k o v á n í, v y t l a č o v á n í, v y f u k o v á n í, t v a r o v á n í</b>					
<i>M o ž n o s t i s p o j o v á n í</i>					
<b>l e p e n í, s v a ř o v á n í, p o k o v o v á n í, p o t i s k o v á n í</b>					

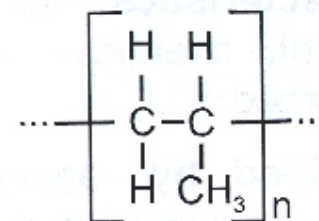
## PP-H – Polypropylene (Homopolymer, isotactic)

**Type:** semi-crystalline (60 - 70%)

**Characteristics:** low cost, low stiffness, low strength, low dimensional stability, low stress cracking even at low temperatures, requires stabilization, multifunctional, often filled and reinforced, chemical resistance

**Identified by:** translucent, smell of paraffin when burned, bright flame, melt drips, floats in water

**Structure:**



**Properties:**

$$\rho = 0.90 - 0.91 \text{ g/cm}^3$$

$$E = 1300 - 1800 \text{ MPa}$$

$$\sigma_Y = 25 - 40 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_Y = 8 - 18\%$$

$$\varepsilon_F = > 50\%$$

$$T_g = 0 - 20^\circ\text{C}$$

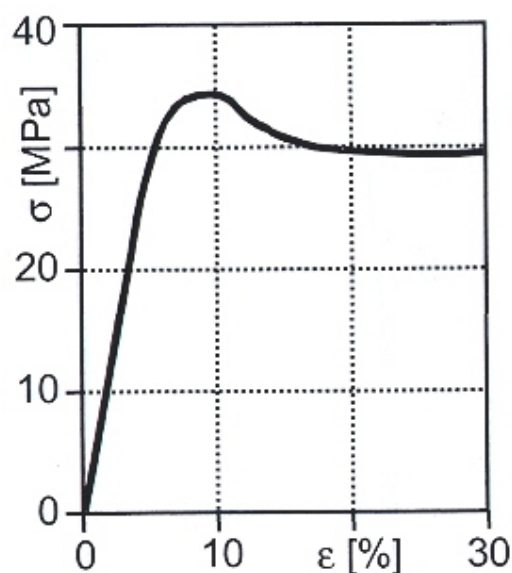
$$T_{pm} = 160 - 165^\circ\text{C}$$

**Thermal Limits:**

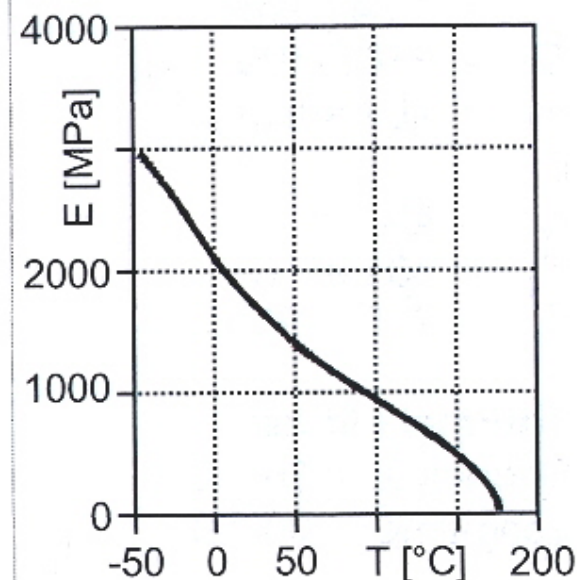
Short-time ~ 130°C

Long-time ~ 90°C

**Stress-Strain Diagram:**



**Elastic Modulus f (Temp):**



# PP – rozdělení podle typů

- **Homopolymer PP:** polymerace samotného propylénu (PP-H), vysoce krystalický, dobře tekutý, problémem je křehnutí pod bodem mrazu; na druhé straně i méně tekuté s vyšší houževnatostí
- **CR typy:** PP s řízenou reologií, jak PP-H, tak i z PP-B
- **Kopolymery PP:** snaha odstranit křehkost, kopolymerace s PE, rozeznáváme:
  - ***blokový kopolymer*** (PP-B) – vznik P/E kaučuku (10 až 40%), který se naváže na polypropylénový řetězec, pokles T<sub>g</sub> na -40 C, odolný nárazu a mrazu
  - ***statistický kopolymer*** (PP-R) náhodná smíchání PP s dalším monomerem, vlastnosti jsou závislé na přidaném monomeru, mají sníženou krystalinitu, nižší teplotu tání

# PP – vliv na modul pružnosti

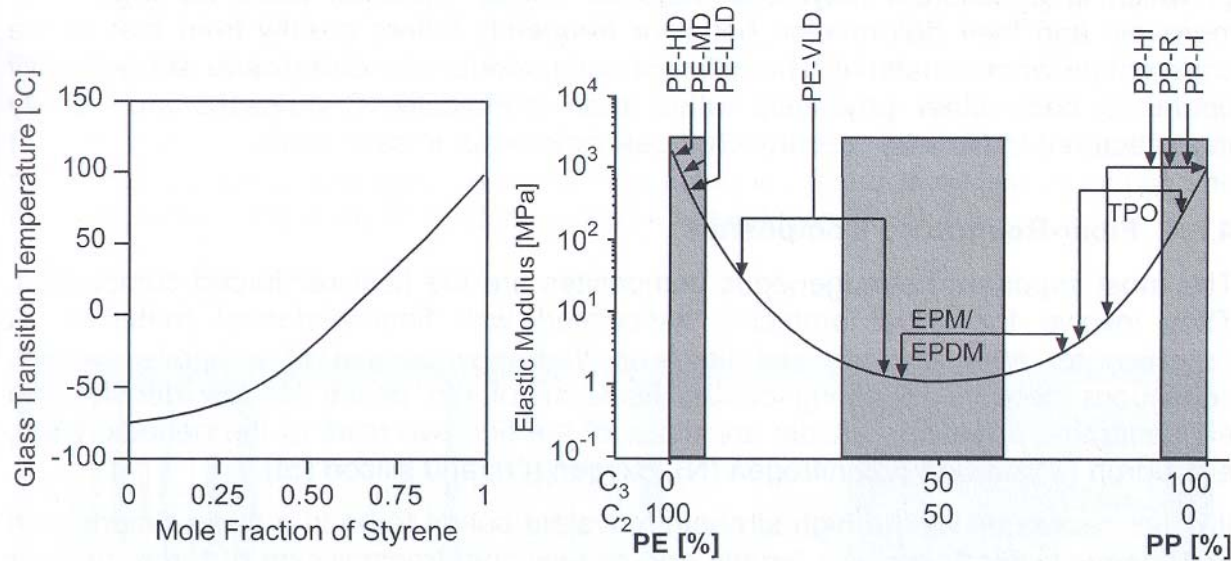
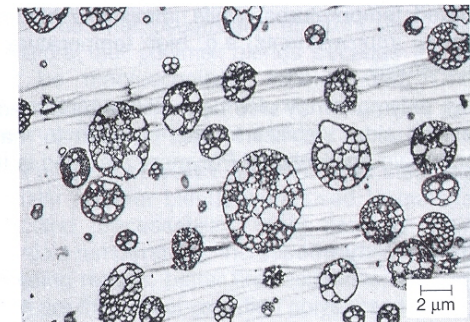


Fig. 4.60: Internal plasticization

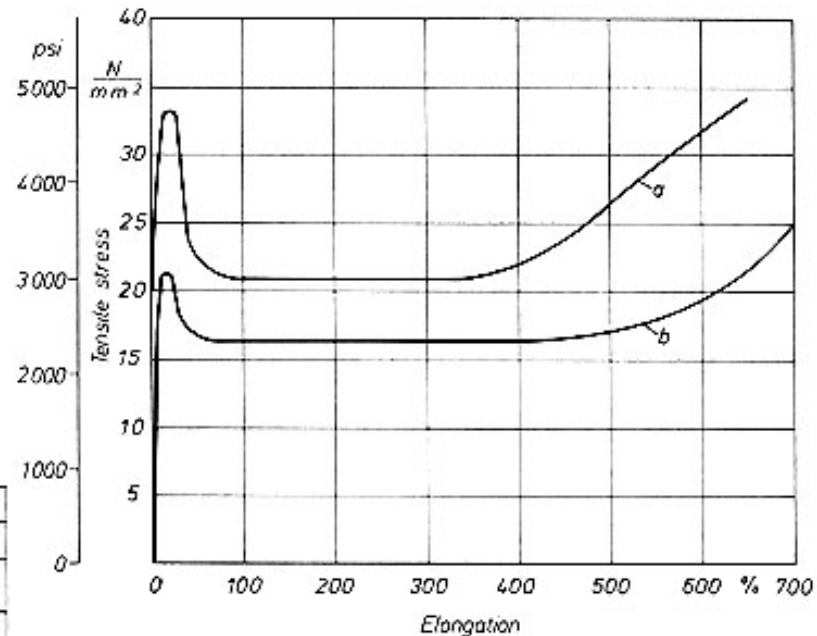
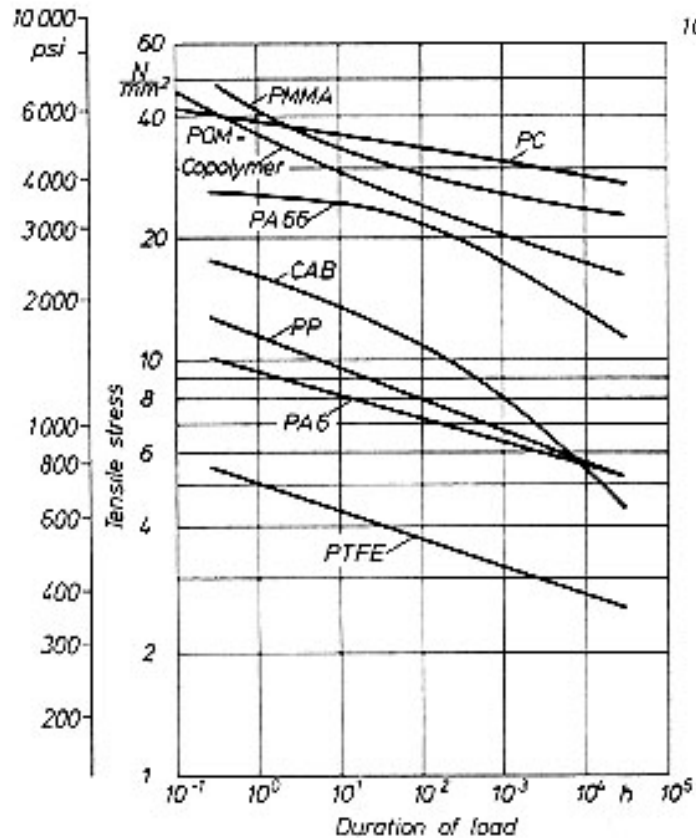
left: glass transition temperature  $T_g$  of a styrene-butadiene copolymer (SB) as a function of the mole fraction<sup>32)</sup> of styrene

right: the influence of the monomer concentration on the elastic modulus of the polyethylene-polypropylene copolymer, the gray region identifies the copolymers that are commercially available in the current market (courtesy Mühlhaupt and Fleissner)



Structure of a solution polymerized high-impact polystyrene (PS-HI) and of the butadiene rubber particles (courtesy BASF) (TEM of an ultra-thin section,  $\sim 0.1 \mu\text{m}$ )

# PP – rozdělení podle typů



Stress-strain diagram  
for two PP-grades  
a homopolymer,  
b block copolymer

Stress/time diagram for PP and some  
other industrial thermoplastics  
(2% deformation, 20°C/68°F)

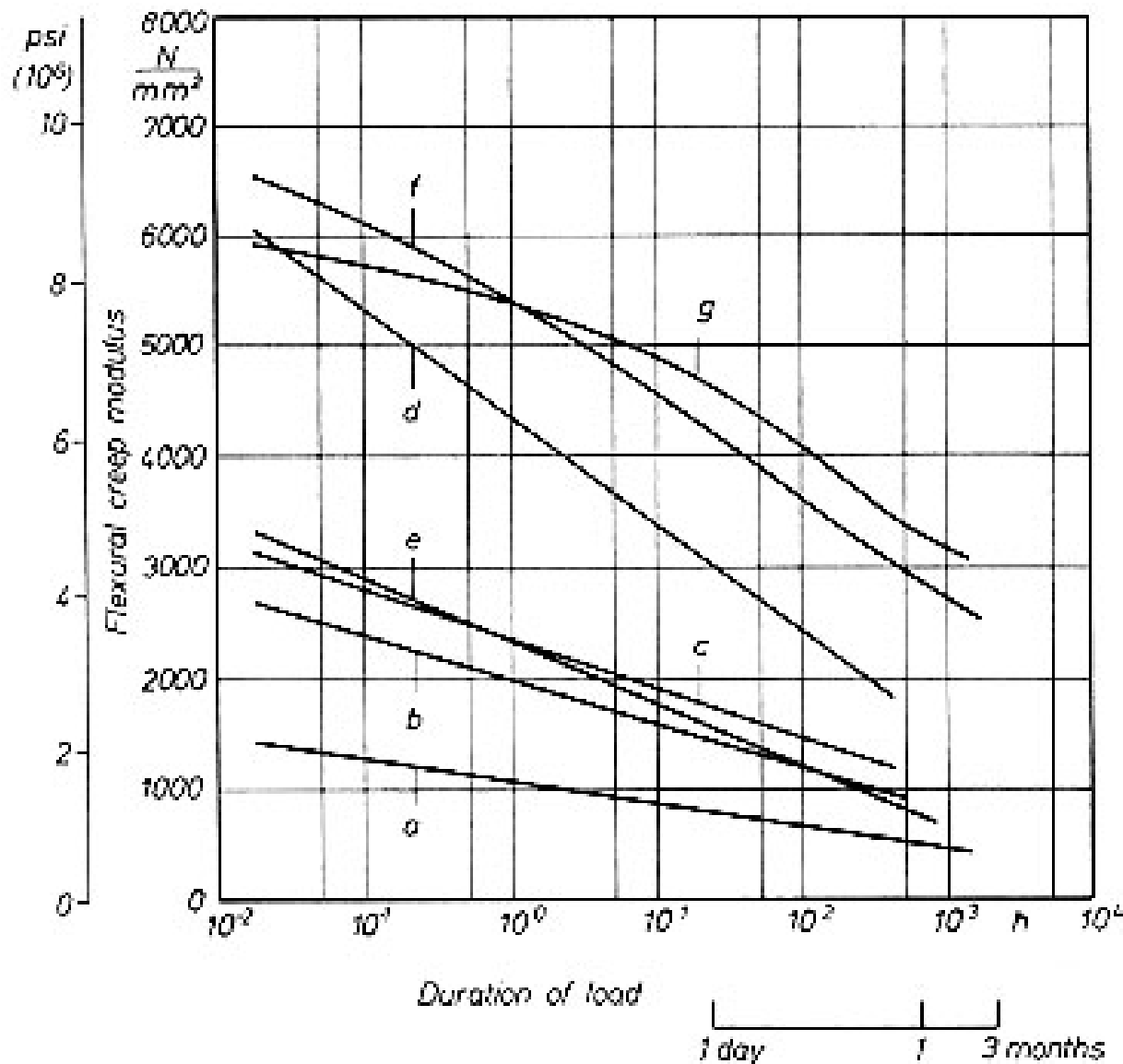
# Kompozity – PP

Pro změnu vlastností a možností použití, snížení ceny, zvýšení užitečných vlastností

1. PP s minerálním plnivem – vápenec, talek, křída, kaolin apod., velikost částic 10  $\mu\text{m}$ , vlastnosti závisí na dispergaci plniva, s rostoucím podílem plniva roste modul pružnosti, snižuje se anizotropie smrštění, výhodná nukleační činidla, klesá tažnost, houževnatost je rozdílná při nízkých (vyšší) a normálních teplotách (spíše nižší) - hranicí je obvykle 20 %, snižuje se cena, rozhraní je vlastně defektem
2. PP s kaučukem – zvýšení houževnatosti za nízkých teplot (až do  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), posun  $T_g$  v důsledku přidání kaučuku s velmi nízkou teplotou  $T_g$ , použití EPM, EPDM (odstraněn problém s vulkanizací), je nutné vytvořit disperzní globulární systém s rovnoměrnými částicemi kaučuku (kolem 1  $\mu\text{m}$ ), klesá krystalinita, klesá modul pružnosti, mechanické vlastnosti
3. PP vyztužený vlákny (krátká vs. dlouhá vlákna)– zvýšení mechanických vlastností, rozměrové přesnosti, ale i změna anizotropie a orientace, houževnatost jako u částicového plniva, závisí na množství, orientaci vláken, na soudružnosti
4. PP binární – vyztužený jak plnivem, tak zvýšení houževnatosti i elastomerem, pevný i houževnatý PP



# PP – vliv plniva na ohybový modul



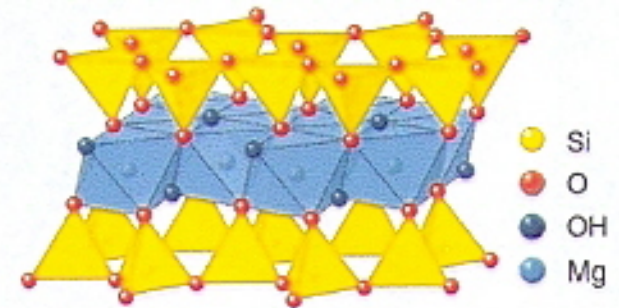
Flexural creep modulus  
of filled and reinforced  
PP grades at 20 °C/68 °F

- a unreinforced  
(for comparison).
- b 20% w/w talc,
- c 40% w/w talc,
- d 40% w/w asbestos fibers,
- e 20% w/w short glass fibers,
- f 30% w/w long glass fibers,
- g 30% w/w long glass fibers,  
coupled

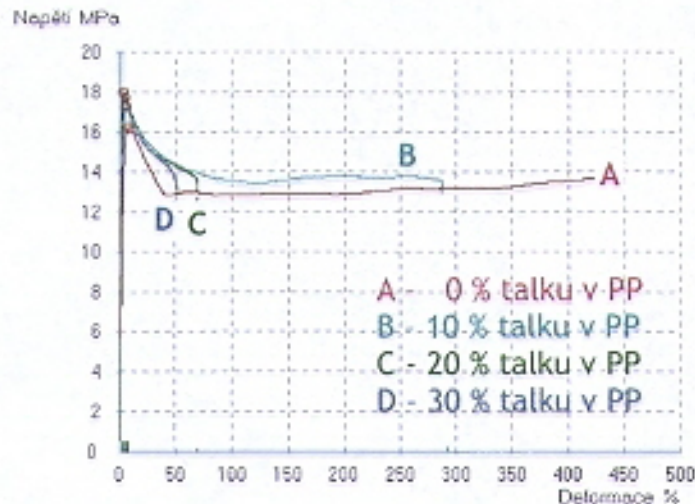
# PP – vliv talku

**TALEK** (mastek, steatit) -  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$

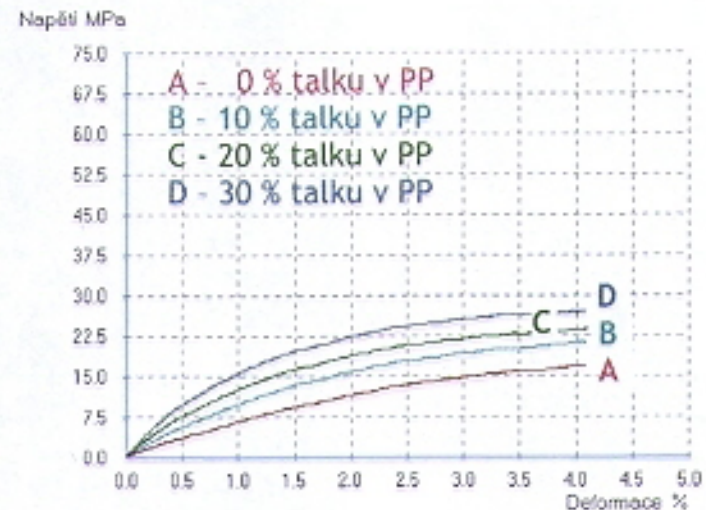
- anorganické minerální plnivo na bázi křemičitanů
- vysoká odolnost vysokým teplotám a kyselinám
- dobré elektroizolační vlastnosti
- přidáván v množství 30÷40%



Vliv na mechanické vlastnosti:



Průběh tahového napětí v závislosti na množství talku v PP Kelburon 95610



Průběh ohybového napětí v závislosti na množství talku v PP Kelburon 95610

# ABS – vlastnosti

**Terpolymer akrylonitril-butadién-styrén** (ABS) je vysoce ceněný amorfní zakalený konstrukční plast. Vyrábí se roubovanou kopolymerizací. Je to vícefázový materiál, kdy základem (pojivem, matricí je kopolymer SAN, v němž jsou dispergovány částice SB kaučuku. Se stoupajícím obsahem kaučuku se zvyšuje houževnatost, ale klesá pevnost, tuhost a teplotní odolnost. Potom tedy pevnost v tahu může být v rozmezí od 20 do 65 MPa, modul pružnosti od 2000 do 3000 MPa. Přítomnost akrylonitrilu je příčinou částečně polárního charakteru hmoty, což se projevuje horšími elektrickými a dielektrickými vlastnostmi a vyšší navlhavostí. Dobře odolává kyselinám, zásadám, olejům a uhlovodíkům, působením povětrnosti křehne. Povrch je matný až vysoce lesklý. Akrylátový kaučuk zajišťuje průhlednost.

Akrylonitril-butadien-styren je tedy terpolymer styrenu, monomeru akrylonitrilu a polybutadienového kaučuku. Velké množství materiálu ABS obsahuje tyto složky v různých poměrech. Mají vysokou rázovou pevnost i při nízkých teplotách, zvýšenou tvrdost a odolnost proti poškrábání, odolnost proti korozi za napětí, poněkud vyšší pod měknutí a dobrý povrchový vzhled. Nevýhodou je špatná povětrnostní stabilita. Dají se přidávat materiály, které omezují šíření plamenů, a dalšími přísadami se dá zvýšit teplota tepelné deformace.

N á z e v	<b>a k r y l o n i t r i l b u t a d i e n s t y r é n</b>				Z k r a t k a	<b>A B S</b>
Z p ů s o b v ý r o b y:	<b>p o l y m e r a c e</b>	N a d m o l e k u l á r n í s t r u k t u r a:	<b>a m o r f n í</b>			
<i>F y z i k á l n í v l a s t n o s t i:</i>						
<i>h u s t o t a:</i>	<b>1 0 5 0 k g . m <sup>-3</sup></b>	<i>s t u p e ň k r y s t a l i n i t y:</i>	<b>n e</b>	<i>s m r š t ě n í</i>	<b>0 , 5 %</b>	
<i>M e c h a n i c k é v l a s t n o s t i:</i>						
<i>m o d u l p r u ž n o s t i:</i>	<b>2 0 0 0 - 3 0 0 0 M P a</b>		<i>p e v n o s t v t a h u:</i>	<b>2 0 - 6 5 M P a</b>		
<i>T e p l o t n í a t e p e l n é v l a s t n o s t i:</i>						
<i>t e p l o t a z e s k e l n ě n í:</i>	<b>1 0 0 ° C</b>		<i>t e p l o t a t o k u:</i>	<b>1 2 0 ° C</b>		
<i>t e p l o t a t v a r o v é s t á l o s t i:</i>	<b>c c a 9 0 ° C</b>		<i>s u š e n í:</i>	<b>8 0 ° C / 2 a ž 4 h</b>		
<i>E l e k t r i c k é v l a s t n o s t i:</i>						
<b>h o r š í d i e l e k t r i c k é a e l e k t r o i z o l a č n í v l a s t n o s t i</b>						
<i>C h e m i c k á o d o l n o s t:</i>						
<b>o d o l á v á k y s e l i n á m , z á s a d á m , o l e j ů m , v l i v e m p o v ě t r n o s t i k ř e h n e</b>						
<i>Z k o u š k a p l a m e n e m:</i>						
<i>b a r v a p l a m e n e:</i>	<b>ž l u t á</b>	<i>d ý m:</i>	<b>č e r n ý</b>	<i>o s t a t n í:</i>	<b>p o p r y ž i</b>	
<i>O s t a t n í</i>						
<b>n e o d o l á v á p o v ě t r n o s t i, k ř e h n e</b>						
<i>O b l a s t i p o u ž í t í</i>						
<b>v s t ř i k o v á n í, v y f u k o v á n í, v y t l a č o v á n í, t v a r o v á n í</b>						
<i>M o ž n o s t i s p o j o v á n í</i>						
<b>l e p e n í, s v a ř o v á n í, p o t i s k o v á n í, p o k o v o v á n í</b>						

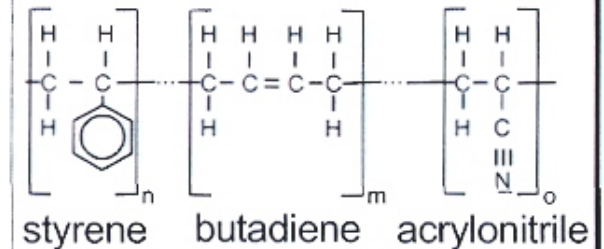
# ABS - Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Copolymer

**Type:** amorphous, blend

**Characteristics:** shiny surface, stiffness, scratch resistance, high dimensional stability, impact-resistance, ability to be galvanized, poor environmental resistance

**Identified by:** opaqueness, smells sweet (styrene) when burned, bright flame, soot forming

**Structure:**



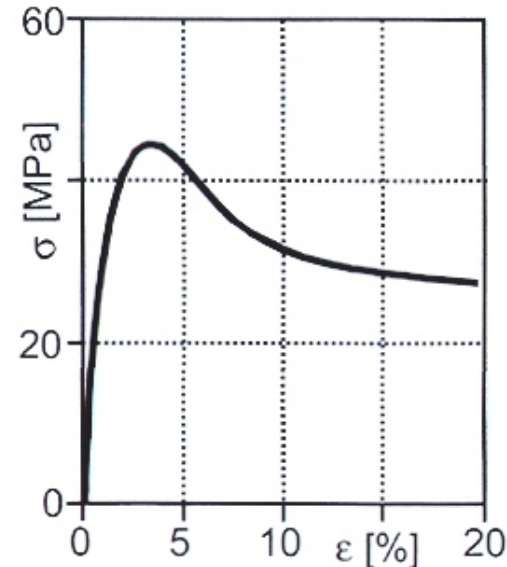
**Properties:**

$\rho = 1.03 - 1.07 \text{ g/cm}^3$   
 $E = 2200 - 3000 \text{ MPa}$   
 $\sigma_Y = 45 - 65 \text{ MPa}$   
 $\epsilon_Y = 2.5 - 3\%$   
 $\epsilon_F = 15 - 20\%$   
 $T_g = -85^\circ\text{C} / 95 - 105^\circ\text{C}$

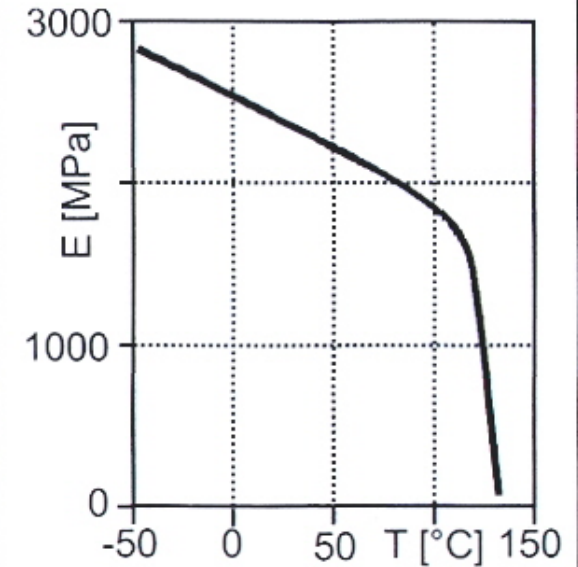
**Thermal Limits:**

Short-time  $\sim 85 - 95^\circ\text{C}$   
Long-time  $\sim 75 - 85^\circ\text{C}$

**Stress-Strain Diagram:**

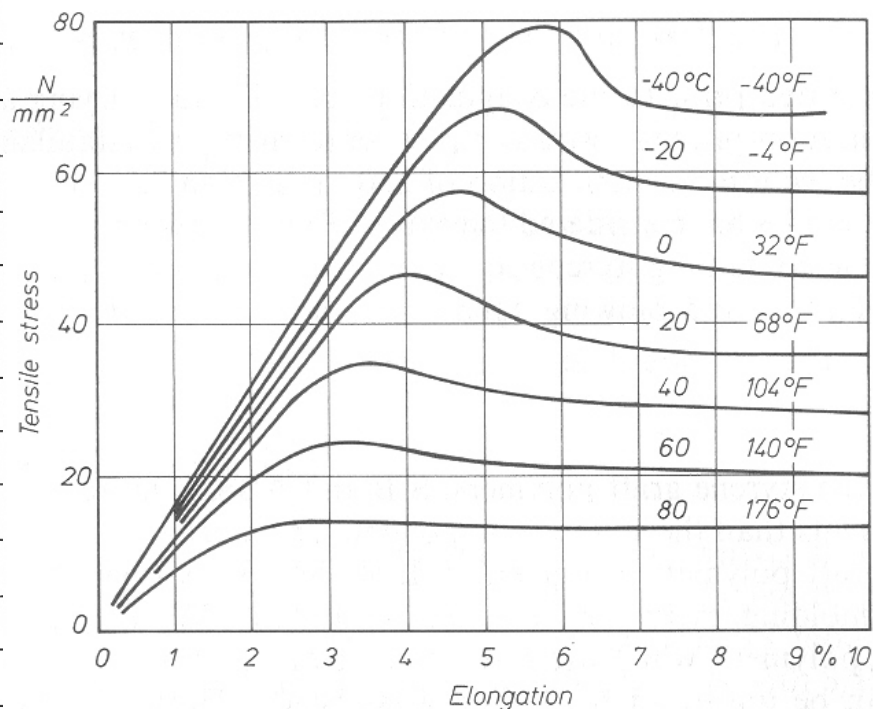


**Elastic Modulus f (Temp):**



# ABS – vlastnosti, tah

Vlastnost	Jednotka	Houževnatý	Vysoce houževnatý	Tepelně odolný
Hustota	g/cm <sup>3</sup>	1,04-1,05	1,02-1,04	1,05-1,07
Modul pružnosti v tahu	MPa	2000-2600	1500-2000	1700-3000
Pevnost v tahu	MPa	40-60	30-45	45-62
Pevnost v ohybu	MPa	70-80	45-65	70-100
Tažnost	%	20	30	do 20
Rázová houževnatost Charpy, 23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	80-bez lomu	bez lomu	60-bez lomu
Rázová houževnatost Charpy, -40 °C	kJ/m <sup>2</sup>	50-60	bez lomu	20-80
Vrubová houževnatost Charpy, 23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	8-12	20-30	8-16
Vrubová houževnatost Charpy, -40 °C	kJ/m <sup>2</sup>	3-5	5-10	1-8
Rázová houževnatost Izod, 23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	85-100	bez lomu	75-100
Rázová houževnatost Izod, -30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	50-60	150	40-50
Vrubová houževnatost Izod, 23 °C	kJ/m <sup>2</sup>	20-26	35-39	13-23
Vrubová houževnatost Izod, -30 °C	kJ/m <sup>2</sup>	6-12	22-25	6-10
Tvrdość kuličkou 358/30	MPa	85-110	65-75	90-135
Tvarová stálost za tepla ISO 75 A (1,8 MPa)	°C	90-100	85-95	95-111
Tvarová stálost za tepla ISO 75 B (0,45 MPa)	°C	95-103	93-101	100-116
Teplota měknutí dle Vicata B	°C	90-105	90-100	102-121
Koeficient délkové teplotní roztažnosti	10 <sup>-5</sup> .K <sup>-1</sup>	8-10	9-12	7-11
Teplota skelného přechodu	°C	90	85	100



# ABS – vlastnosti, morfologie

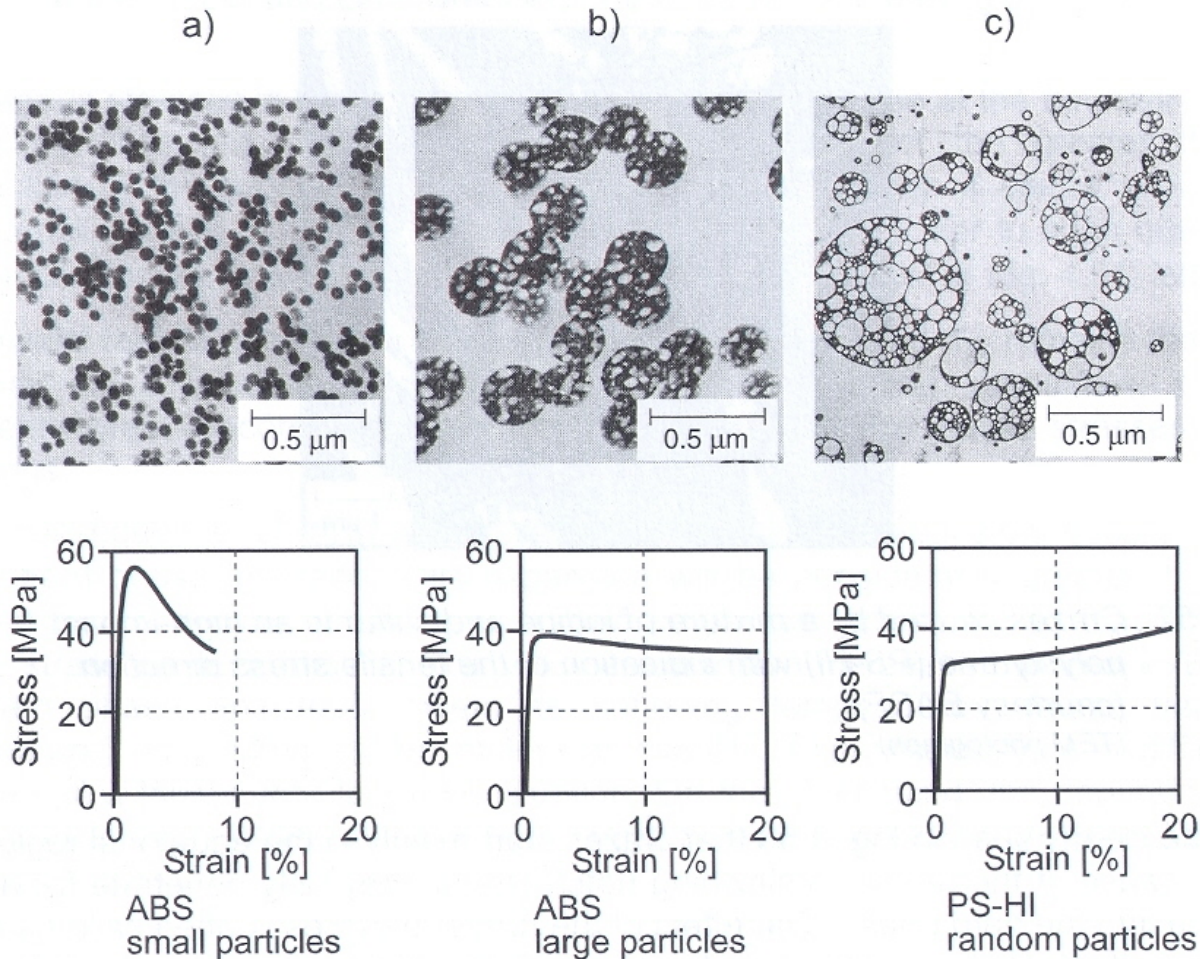
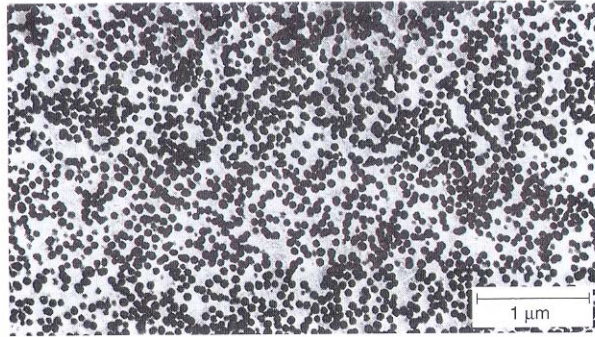
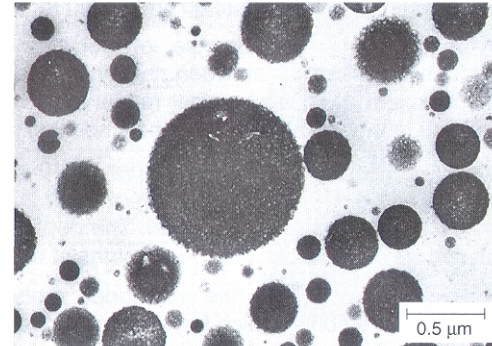


Fig. 4.54: Influence of rubber particle size on deformation behavior of ABS and PS-HI (TEM photograph)

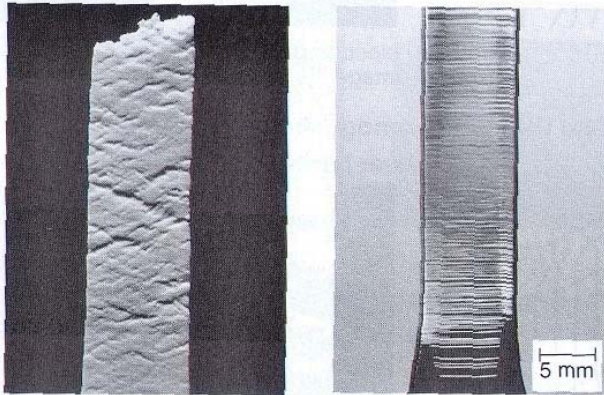
# ABS – vlastnosti, morfologie



Finely dispersed butadiene-rubber (BR) particles in a styrene-acrylonitrile copolymer (SAN). The product is known as an acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (ABS)  
(TEM of an ultra-thin section, ~ 0.1 μm)



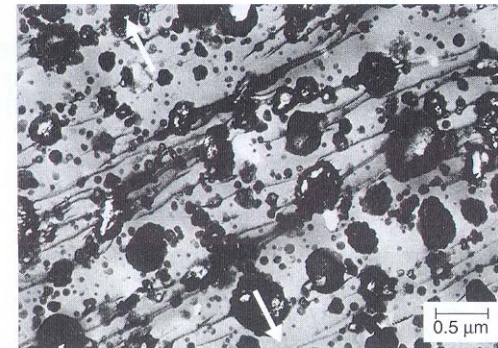
Section through an acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (ABS)  
Black spheres = grafted rubber particles (courtesy BASF)  
(TEM of an ultra-thin section, ~ 0.1 μm)



## Deformation behavior of amorphous thermoplastics

left: Shear banding of an acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer (ABS) tensile specimen

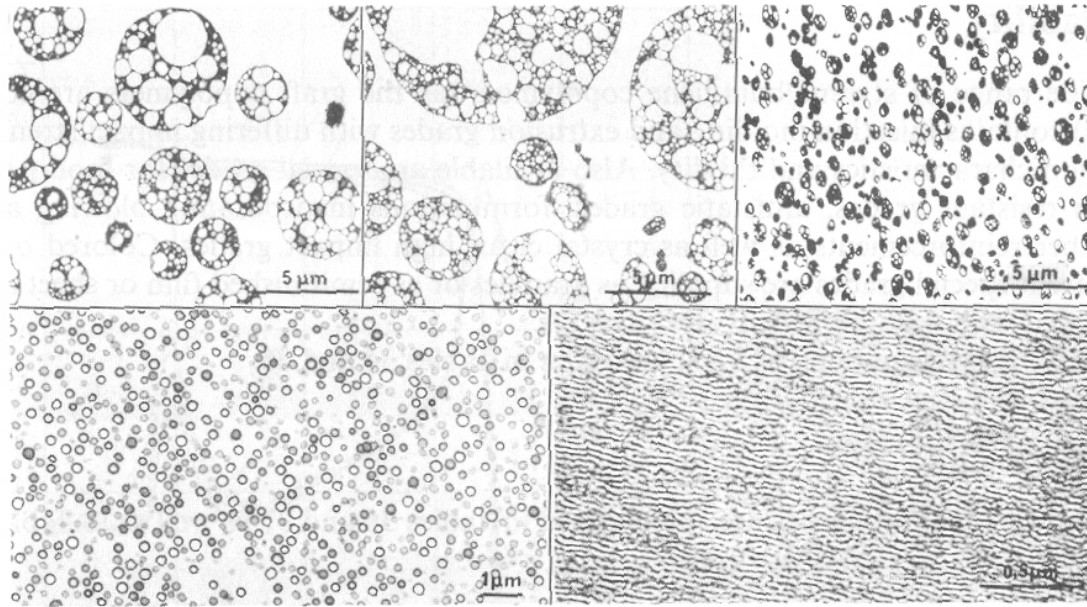
right: Crazing of a polystyrene (PS) tensile specimen subjected to a 115 MPa load (failure at 145 MPa)



: Crazes caused by tensile stress in acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) (courtesy BASF)  
(TEM photograph)



# ABS – vlastnosti, morfologie



Rubber morphology of impact resistant polystyrenes (photograph: *BASF*)

Top left: conventional S/B

Top center: S/B with improved resistance to stress cracking

Top right: S/B with high surface gloss

Lower left: capsule morphology in SB with high transparency

Lower right: finely dispersed rubber phase in crystal clear S/B

Properties	Units		Standard polystyrene		Styrene/butadiene	
	SI	US	SI	US	SI	US
Ultimate tensile strength	N/mm <sup>2</sup>	psi	30–55	4270–7820	30–35	4270–7820
Elongation at break	%	%	≈4	≈4	40–60	40–60
Flexural modulus of elasticity (1 min)	N/mm <sup>2</sup>	psi	3200–3600	455000–512000	1200–1800	171000–256000
Impact strength (unnotched)	kJ/m <sup>2</sup>	–	8–24	–	no fracture	–
Impact strength (notched)	kJ/m <sup>2</sup>	–	1.5–3	–	7–8	–
Ball indentation hardness (30 s)	N/mm <sup>2</sup>	psi	160–170	22800–24200	60–85	8530–12100
Vicat softening point VSP/B (in glycol)	°C	°F	77–100	171–212	75–93	167–200

ABS		ASA	
SI	US	SI	US
25–40	3560–5690	35–43	4980–6180
10–40	10–40	12–23	12–23
1500–2600	213000–370000	2200–3100	313000–441000
50 to no fracture	–	23 to no fracture	–
5–22	–	5–26	–
65–120	9240–17100	72–121	10240–17200
85–105	185–220	95–100	203–212

# PC – vlastnosti

**Polykarbonáty** (PC) výhodně spojují houževnatost s dobrou teplotní odolností fenoplastů, řadí se mezi polyestery. Je to produkt polykondenzace s lineární makromolekulou. Jsou to amorfní termoplasty, které se vyznačují dobrými mechanickými vlastnostmi, výbornou čírostí a průhledností. Pevnost v tahu bývá až 70 MPa, modul pružnosti až 2500 MPa a houževnatost je tak vysoká, že ani při prudkém nárazu těleso nepraskne. Kríp je malý. Teplota zesklennění je 140 až 170 °C, ale teprve nad teplotou 225 °C přechází do stavu velmi viskózní kapaliny. Tvarově stálý za tepla je do 125 °C, trvale teplotně odolný do 100 °C. Protože elektroizolační vlastnosti jsou velmi dobré a dielektrické ztráty nízké, je ceněným plastem v elektrotechnice. Částečně polární charakter je příčinou navlhavosti, která sice neovlivňuje mechanické vlastnosti polymeru, ale při teplotě zpracování způsobuje jeho degradaci a rychlé zhoršení vlastností. Vcelku dobře odolává kyselinám, avšak nikoliv zásadám. Rozpouští se i v řadě rozpouštědel, např. v chlorovaných uhlovodících. Odolnost proti korozi za napětí, stejně jako proti UV záření a povětrnosti je na střední úrovni. PC lze obtížně zapálit a hoří pomalu. Patří k samozhášivým plastům. PC podléhá hydrolyze při styku s horkou vodou (zpomalení u stabilizovaných typů).

Polykarbonáty se na díly s vysokou rázovou odolností, jako jsou panely karosérií, střešní lampy a dveřní osvětlení, zadní brzdová světla, aj. Ke speciálním typům patří PC plněné krátkými skleněnými vlákny v množství až 40%. Tím se zvýší modul pružnosti až na 10000 MPa, a pevnost v tahu až na 120 MPa a ještě se sníží sklon ke krípu. Na druhé straně klesá houževnatost a zhoršuje se zpracovatelnost.

N á z e v	<b>p o l y k a r b o n á t</b>			Z k r a t k a	<b>P C</b>
Z p ů s o b v ý r o b y:	<b>p o l y k o n d e n z a c e</b>	N a d m o l e k u l á r n í s t r u k t u r a:	<b>a m o r f n í</b>		
<i>F y z i k á l n í v l a s t n o s t i:</i>					
<i>h u s t o t a:</i>	<b>1 2 2 0 k g . m <sup>-3</sup></b>	<i>s t u p e ň k r y s t a l i n i t y:</i>	<b>n e</b>	<i>s m r š t ě n í</i>	<b>0 , 7 - 0 , 8 %</b>
<i>M e c h a n i c k é v l a s t n o s t i:</i>					
<i>m o d u l p r u ž n o s t i:</i>	<b>2 5 0 0 M P a</b>	<i>p e v n o s t v t a h u:</i>	<b>a ž 7 0 M P a</b>		
<i>T e p l o t n í a t e p e l n é v l a s t n o s t i:</i>					
<i>t e p l o t a z e s k e l n ě n í:</i>	<b>1 4 0 - 1 7 0 ° C</b>	<i>t e p l o t a t o k u:</i>	<b>2 2 0 - 2 5 0 ° C</b>		
<i>t e p l o t a t v a r o v é s t á l o s t i:</i>	<b>c c a 1 0 0 ° C</b>	<i>s u š e n í:</i>	<b>1 2 0 ° C / 4 h</b>		
<i>E l e k t r i c k é v l a s t n o s t i:</i>					
<b>n í z k é d i e l e k t r i c k é v l a s t n o s t i</b>					
<i>C h e m i c k á o d o l n o s t:</i>					
<b>o d o l á v á k y s e l i n á m , a v š a k n i k o l i v z á s a d á m</b>					
<i>Z k o u š k a p l a m e n e m:</i>					
<i>b a r v a p l a m e n e:</i>	<b>ž l u t ý</b>	<i>d ý m:</i>	<b>č e r n ý</b>	<i>o s t a t n í:</i>	
<i>O s t a t n í</i>					
<b>s a m o z h á š i v ý , s t ř e d n í o d o l n o s t p r o t i p o v ě t r n o s t i</b>					
<i>O b l a s t i p o u ž í t í</i>					
<b>v s t ř i k o v á n í , v y f u k o v á n í , v y t l a č o v á n í , t v a r o v á n í</b>					
<i>M o ž n o s t i s p o j o v á n í</i>					
<b>l e p e n í , s v a ř o v á n í , p o k o v o v á n í</b>					

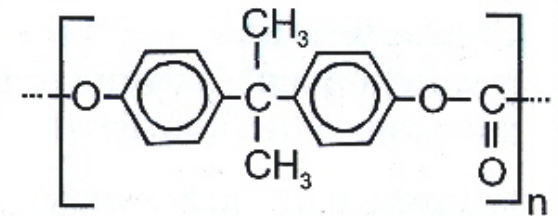
## PC – Polycarbonate

**Type:** amorphous

**Characteristics:** good dimensional stability, shiny surface, impact-resistance, high thermal stability, sensitivity to stress cracking, good insulating properties

**Identified by:** transparency, dark yellow flame, soot forming, self extinguishing

**Structure:**



**Properties:**

$$\rho = 1.20 - 1.24 \text{ g/cm}^3$$

$$E = 2200 - 2400 \text{ MPa}$$

$$\sigma_Y = 55 - 65 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_Y = 6 - 7\%$$

$$\varepsilon_F = 100 - 130\%$$

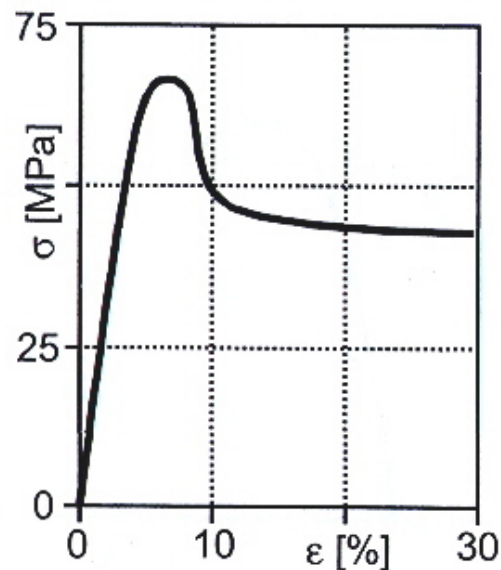
$$T_g = 145^\circ\text{C}$$

**Thermal Limits:**

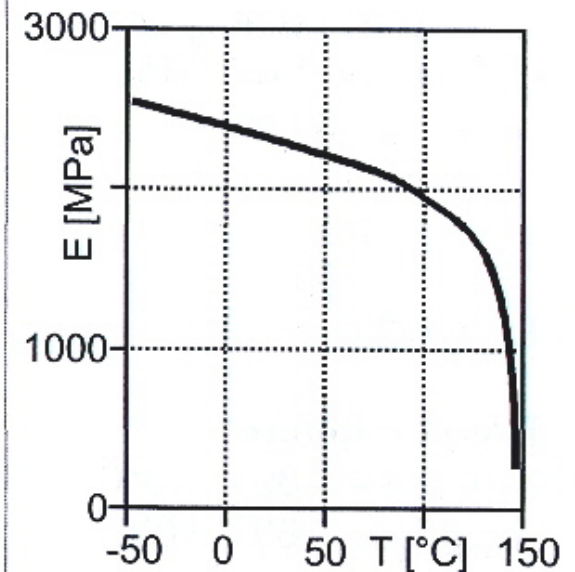
Short-time ~ 135°C

Long-time ~ 100°C

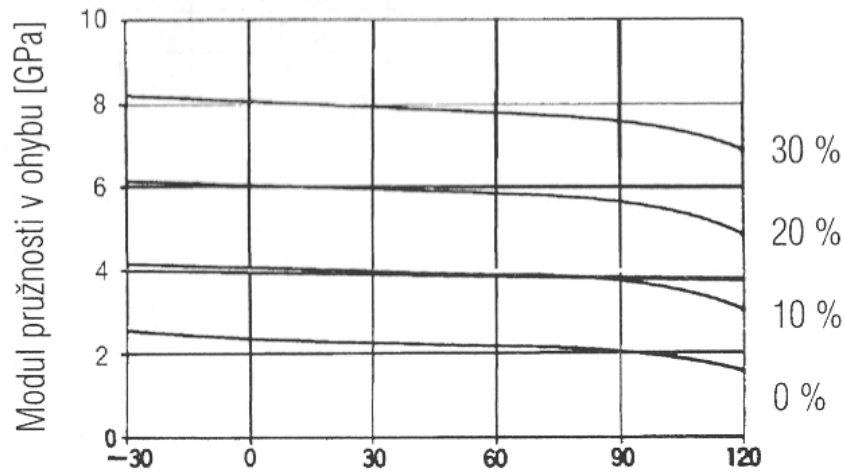
**Stress-Strain Diagram:**



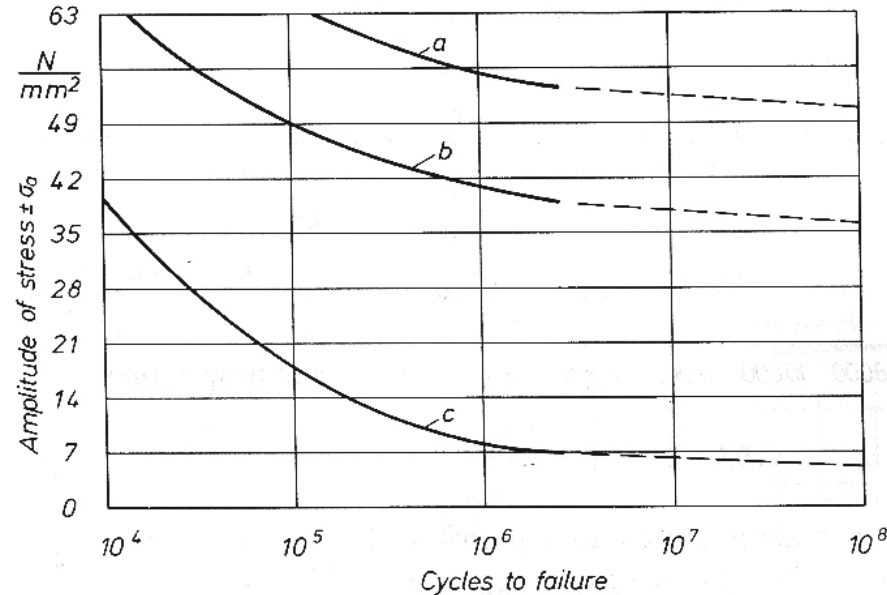
**Elastic Modulus f (Temp):**



# PC – vliv teploty, obsahu plniva



Teplota [°C]



**Fig. 376**

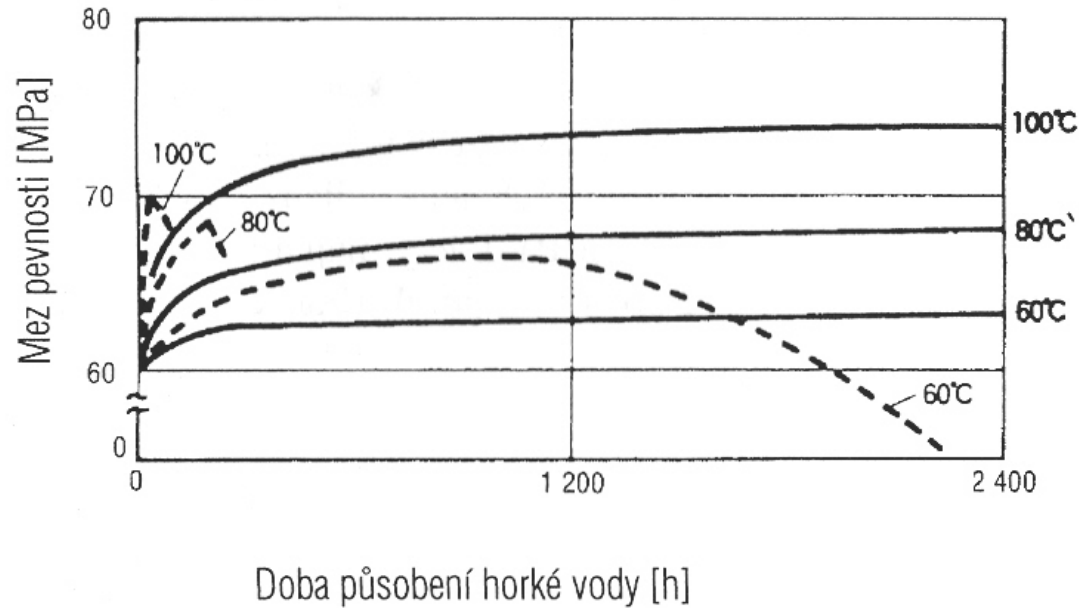
Flexural fatigue stress of unreinforced and glass fiber reinforced polycarbonate (23°C/73°F,  $f = 30$  Hz)

a) PC-40GF,

b) PC-20GF,

c) PC (unreinforced)

# PC – vliv teploty, obsahu plniva



- - - nestabilizované typy
- stabilizované typy

<b>Polykarbonát</b>	<b>-20 °C</b>	<b>0 °C</b>	<b>20 °C</b>	<b>50 °C</b>	<b>100 °C</b>
Neplněný	16	15	14	11,5	3
PC + 10 % SV	21	20	19	14	4
PC + 20 % SV	28	25	23,5	18	6
PC + 30 % SV	33	30	28	23	8,5

SV - skleněná vlákna

# POM – vlastnosti

**Polyoxymetylén** (POM) –polyacetál, polyformaldehyd, patří k vysoce krystalickým polymerům, obsah krystalického podílu je kolem 85 % a s časem odležení dále stoupá. Struktura připomíná strukturu PE. U POM se krystalinita snižuje kopolymerací. Struktura (sférolity) by měla být jemnozrná, potom je POM houževnatější, což se ovlivňuje nukleárními činidly. Svými mechanickými vlastnosti je vhodný pro konstrukční aplikace. Vyrábí se polymerací formaldehydu. Pevnost v tahu činí až 70 MPa a modul pružnosti je 2800 MPa až 3500 MPa. Dobře odolává krípu i nárazům, má dobrou mez únavy. Koeficient tření i za sucha je nízký a rovněž otěruvzdornost je velmi dobrá. Teplota tání je 175 oC, takže výrobky jsou krátkodobě použitelné do 120 oC, trvale do 95 oC. Mají vysokou houževnatost až do -40 oC, dobrou odolnost proti korozi za napětí. Elektrické vlastnosti odpovídají slabě polárním polymerům a leží mezi PE a PVC. Nepatrně absorbuje vodu. Poměrně dobře odolává rozpouštědlům, silné kyseliny a zásady však způsobují jeho rozklad. Účinkům povětrnosti neodolává. Po zapálení hoří zvolna a málo svítivým plamenem.

Polyoximetylén se používá na výrobu malých součástí s vysokou pevností, jako jsou příchytky, klíčky, aj.

N á z e v	<b>p o l y o x y m e t h y l é n</b>				Z k r a t k a	<b>P O M</b>
Z p ů s o b v ý r o b y :	<b>p o l y m e r a c e</b>	N a d m o l e k u l á r n í s t r u k t u r a :	<b>s e m i k r y s t a l i c k ý</b>			
<i>F y z i k á l n í v l a s t n o s t i :</i>						
<i>h u s t o t a :</i>	<b>1 4 2 0 k g . m <sup>-3</sup></b>	<i>s t u p e ň k r y s t a l i n i t y :</i>	<b>7 0 - 9 0 %</b>	<i>s m r š t ě n í</i>	<b>2 %</b>	
<i>M e c h a n i c k é v l a s t n o s t i :</i>						
<i>m o d u l p r u ž n o s t i :</i>	<b>2 8 0 0 - 3 5 0 0 M P a</b>		<i>p e v n o s t v t a h u :</i>	<b>a ž 7 0 M P a</b>		
<i>T e p l o t n í a t e p e l n é v l a s t n o s t i :</i>						
<i>t e p l o t a z e s k e l n ě n í :</i>	<b>5 0 - 6 0 ° C</b>		<i>t e p l o t a t á n í :</i>	<b>1 7 5 ° C</b>		
<i>t e p l o t a t v a r o v é s t á l o s t i :</i>	<b>1 0 0 ° C</b>		<i>s u š e n í :</i>	<b>1 2 0 ° C / 4 h</b>		
<i>E l e k t r i c k é v l a s t n o s t i :</i>						
<b>v e l m i d o b r é d i e l e k t r i c k é a e l e k t r i c k é v l a s t n o s t i</b>						
<i>C h e m i c k á o d o l n o s t :</i>						
<b>s i l n é k y s e l i n y a z á s a d y z p ů s o b u j í j e h o r o z k l a d</b>						
<i>Z k o u š k a p l a m e n e m :</i>						
<i>b a r v a p l a m e n e :</i>	<b>m o d r ý</b>	<i>d ý m :</i>		<i>o s t a t n í :</i>	<b>m á l o s v í t i v ý</b>	
<i>O s t a t n í</i>						
<b>o d o l á v á k r í p u a n á r a z ů m , n e o d o l á v á p o v ě t r n o s t i</b>						
<i>O b l a s t i p o u ž í t í</i>						
<b>v s t ř i k o v á n í , v y t l a č o v á n í</b>						
<i>M o ž n o s t i s p o j o v á n í</i>						
<b>l e p e n í , s v a ř o v á n í , p o t i s k o v á n í</b>						



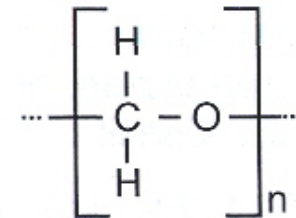
## POM – Polyoxymethylene (Polyacetal)

**Type:** semi-crystalline (70 – 80%)

**Characteristics:** high strength and stiffness, high dimensional stability, low susceptibility to stress cracking, sensitive to UV light

**Identified by:** opaqueness, white color, strong smell of formaldehyde when burned, faint blue flame, melt drips

**Structure:**



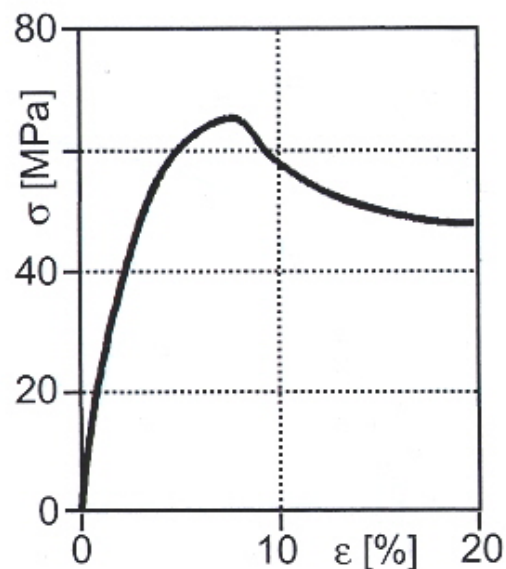
**Properties:**

$\rho$  = 1.41 - 1.43 g/cm<sup>3</sup>  
 $E$  = 3000 - 3200 MPa  
 $\sigma_Y$  = 60 - 75 MPa  
 $\epsilon_Y$  = 8 - 25%  
 $\epsilon_F$  = 20 - > 50%  
 $T_g$  = -70°C  
 $T_{pm}$  = 165 - 175°C

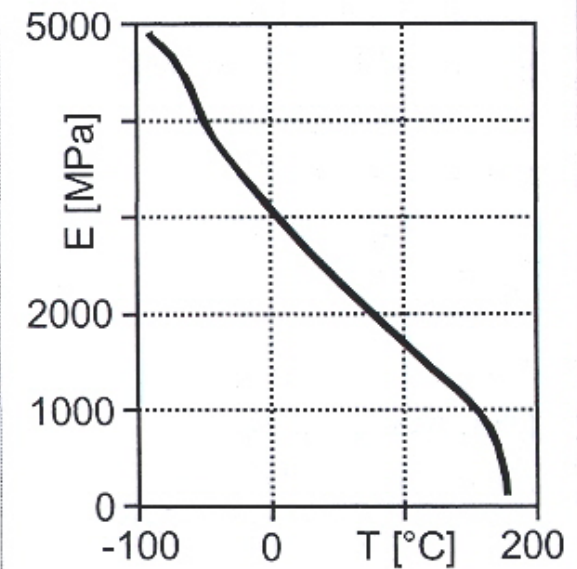
**Thermal Limits:**

Short-time ~ 110 - 140°C  
Long-time ~ 90 - 100°C

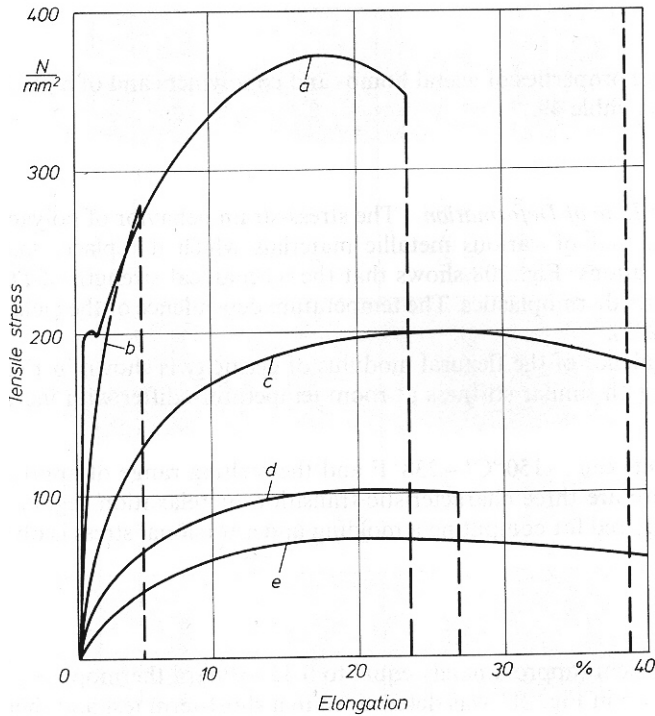
**Stress-Strain Diagram:**



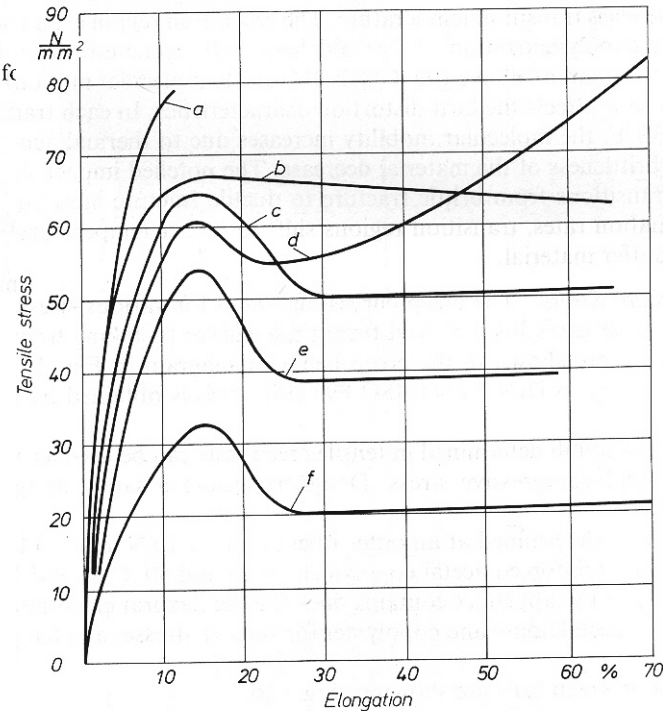
**Elastic Modulus f (Temp):**



# POM – porovnání vlastností



**Fig. 207**  
Stress/strain diagrams for various materials at 20°C/68°F  
a Steel St 37,  
b Zinc die casting ZnAl,  
c Copper, annealed,  
d Aluminum, annealed,  
e Acetal copolymer



**Fig. 208**  
Stress/strain diagrams for various thermoplastics (temperature 20°C/68°F, testing speed 60 mm/min (2.36 in./min))  
a Polymethylmethacrylate,  
b Acetal copolymer,  
c Polycarbonate,  
d Polyamide 6,  
e PVC-U,  
f Polypropylene

# POM – vliv vody, dotlaku

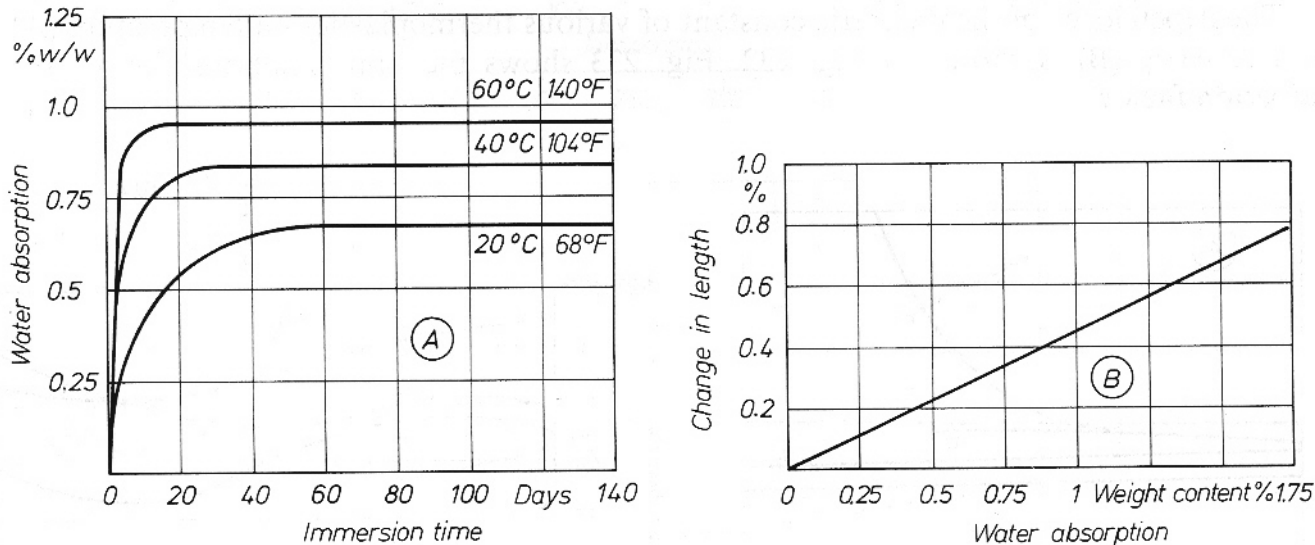


Fig. 234 Water absorption of polyacetal (A) and resultant changes in dimensions (B)

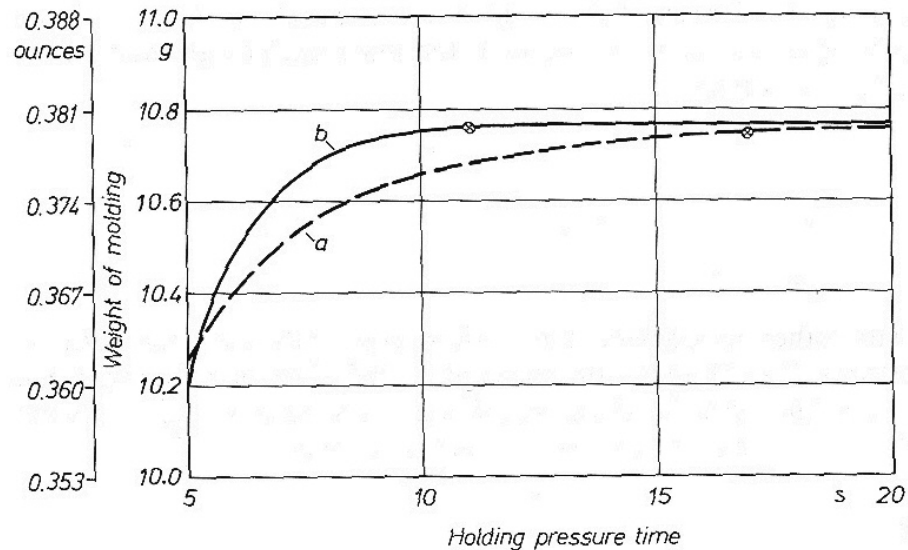


Fig. 206 Optimum cycle times for standard and nucleated acetal copolymer  
a not nucleated,  
b nucleated

# PA – vlastnosti

**Polyamidy** obsahují v řetězcích kromě atomů uhlíku i atomy dusíku, které výrazně zvyšují pevnostní hodnoty, ale na druhé straně jsou příčinou vysoké navlhavosti materiálu. PA jsou více či méně krystalické plasty, kdy obsah krystalické fáze je až 60%. Polyamidy mají vodíkový můstek, což je hlavním parametrem vysoké krystalinity. PA jsou buď zakalené (krystalické) nebo téměř čiré (amorfní). Hlavními typy **polyamidů** (PA), které se používají ve vozidlech, jsou PA6, PA66, PA11, PA12 a ostatní. Všechny tyto polymery jsou vysoce hydrofobické. Absorpce vody se dá snížit přísadou plniva (např. skleněných vláken) nebo zvýšenou nukleací. Krystalický podíl zajišťuje vysokou pevnost, tvrdost, tuhost, amorfní podíl ohebnost, tažnost absorpci vody. Vysoce krystalické PA absorbují vodu méně a více odolávají otěru. Stupeň krystalinity (je dán výrobními podmínkami) má rovněž vliv na elektrické a mechanické vlastnosti. Číslice za značkou označují počet atomů uhlíku ve strukturní jednotce makromolekuly. V makromolekulách se pravidelně opakuje amidová skupina  $-\text{CO}-\text{NH}-$ . PA se vyrábějí polykondenzací diaminů nebo aminokyselin, resp. polymerací laktamů. PA jsou závislé na podmínkách zpracování (teplota formy, teplota taveniny, plastikace, apod.). Polyamidy se stále více používají v oblastech, kde je důležitá houževnatost, tuhost a odolnost proti otěru, proti působení uhlovodíků a proti teplu. Pohyblivé části z PA jsou samomazné a mají tichý chod.

# PA – vlastnosti

- **Polyamid 6** (PA6) je houževnatý termoplast, tvořený lineárními makromolekulami s obsahem krystalického podílu v rozsahu 25 až 45 %. Pevnost v tahu se podle obsahu monomeru a vody mění v rozsahu 40 až 80 MPa, modul pružnosti od 900 do 1600 MPa. Vykazuje značný sklon ke krípu. Konstrukční vlastnosti lze zlepšit přidáním skleněných vláken. Teplota tání je vysoká a bývá v rozsahu 220 až 250 °C, teplota zesklenní je asi 40 °C. Přítomnost vody snižuje teplotu zesklenní pod 0 °C. PA6 má mimořádnou odolnost proti otěru a má nízký koeficient tření. Elektrické vlastnosti jsou špatné v důsledku silné polarizace hmoty a sluneční záření způsobuje silné zhoršování vlastností.
- **Polyamid 66** (PA66) má úzkou oblast tání (teplota tání je kolem 250 °C) a oproti PA6 má asi o 20 % lepší mechanické vlastnosti. Má menší navlhavost a lepší teplotní odolnost. PA66 má velmi vysoký bod tání a velmi vysokou pevnost a tuhost. PA66 se dá modifikovat skleněnými vlákny a pomocí nukleačních činidel, které způsobují rychlou krystalizaci. Odolává většině rozpouštědel, s výjimkou silných kyselin a oxidačních činidel. Vystavení venkovním podmínkám, pokud není PA66 stabilizován, způsobuje vyblednutí barev a křehnutí. PA66 vyztužený skleněnými vlákny je stejně houževnatý jako většina amorfních plastických hmot a odolává vzniku trhlin v důsledku namáhání a je odolný vůči rozpouštědlům.
- V poslední době vyvinutý **polyamid 46** (PA46) se používá v podobných aplikacích, jako PA6 a PA66. Má vysokou krystalinitu a vysoký poměr nukleace, což poskytuje vyšší rázovou houževnatost než u PA66. Má rovněž vyšší pevnost v tahu a menší poměrné prodloužení při přetržení a je velmi tvrdý.
- **Polyamid 11 a polyamid 12** (PA11, PA12) tvoří přechod k polyolefínům, protože mají z polyamidů nejnižší hustotu (1040 kg.m<sup>-3</sup>) a nejnižší navlhavost. Mechanické vlastnosti jsou však poměrně vysoké, zvláště rázová a vrubová houževnatost. PA6 a PA66 předčí elektrickými a dielektrickými vlastnostmi. PA11 má dobrou odolnost proti UV záření a má dobré izolační vlastnosti. Absorbuje méně vody než PA 66 a je méně citlivý na změny vlhkosti. Má vysokou teplotu tepelné deformace a rázovou houževnatost při nízkých teplotách.

Název	<b>polyamid 6</b>				Zkratka	<b>PA 6</b>
Způsob výroby:	<b>polykondenzace</b>	Nadmolekulární struktura:	<b>semikrystalický</b>			
<i>Fyzikální vlastnosti:</i>						
hustota:	<b>1130 kg.m<sup>-3</sup></b>	stupeň krystalinity:	<b>25-45%</b>	smrštění	<b>1,3%</b>	
<i>Mechanické vlastnosti:</i>						
modul pružnosti:	<b>900 - 1600 MPa</b>		pevnost v tahu:	<b>40 - 80 MPa</b>		
<i>Teplotní a tepelné vlastnosti:</i>						
teplota zesklnění:	<b>50 - 60 °C</b>		teplota tání:	<b>220 - 250 °C</b>		
teplota tvarové stálosti:		sušení:	<b>80-100 °C / 4 +h</b>			
<i>Elektrické vlastnosti:</i>						
<b>střední dielektrické a elektroizolační vlastnosti, vliv vlhkosti</b>						
<i>Chemická odolnost:</i>						
<b>odolává olejům a nepolárním rozpouštědlům, zásadám nikoliv</b>						
<i>Zkouška plamenem:</i>						
barva plamene:	<b>žlutý</b>	dým:	<b>černý</b>	ostatní:	<b>po rohovině</b>	
<i>Ostatní</i>						
<b>silně navlhavý, zněčný sklon ke křípu, UV zhoršuje vlastnosti, nízké tření</b>						
<i>Oblasti použití</i>						
<b>vstřikování</b>						
<i>Možnosti spojování</i>						
<b>lepení, svařování, potiskování</b>						

Název	<b>polyamid 11</b>				Zkratka	<b>PA11</b>
Způsob výroby:	<b>polykondenzace</b>	Nadmolekulární struktura:	<b>semikrystalický</b>			
<i>Fyzikální vlastnosti:</i>						
hustota:	<b>1040 kg.m<sup>-3</sup></b>	stupeň krystalinity:		smrštění	<b>1-2,5%</b>	
<i>Mechanické vlastnosti:</i>						
modul pružnosti:	<b>1300 MPa</b>		pevnost v tahu:	<b>60 MPa</b>		
<i>Teplotní a tepelné vlastnosti:</i>						
teplota zesklnění:	<b>30 °C</b>		teplota tání:	<b>185 °C</b>		
teplota tvarové stálosti:		sušení:	<b>90 °C / 5-10 h</b>			
<i>Elektrické vlastnosti:</i>						
<b>lepší vlastnosti než PA6 a PA6.6</b>						
<i>Chemická odolnost:</i>						
<b>lepší odolnost než PA6 a PA6.6</b>						
<i>Zkouška plamenem:</i>						
barva plamene:		dým:		ostatní:	<b>po rohovině</b>	
<i>Ostatní</i>						
<b>nejnižší navlhavost, přechod k polyolefinům, velmi dobrá zpracovatelnost</b>						
<i>Oblasti použití</i>						
<b>vstřikování, vytlačování, vyfukování, speciální</b>						
<i>Možnosti spojování</i>						
<b>lepení, potiskování</b>						

Monomer	Počet atomů uhlíku	Název	Označení
<b>Polyamidy na bázi alifatických monomerů</b>			
Tetramethyléndiamin	4		
Kyselina adipová	6	Poly(tetramethylénadipamid)	PA 46
Hexamethyléndiamin	6		
Kyselina adipová	6	Poly(hexamethylénadipamid)	PA 66
Hexamethyléndiamin	6		
Kyselina azealová	9	Poly(hexamethylénazelamid)	PA 69
Hexamethyléndiamin	6		
Kyselina sebaková	10	Poly(hexamethylénebakamid)	PA 610
Hexamethyléndiamin	6		
Kyselina dodekandiová	12	Poly(hexamethyléndodekanamid)	PA 612
Dodekamethyléndiamin	12		
Kyselina dodekandiová	12	Poly(dodekamethyléndodekan-amid)	PA 1212
6-hexanlaktam (ε-kaprolaktam)	6	Poly(6-hexanlaktam) nebo poly(ε-kaprolaktam) nebo poly(kapronamid)	PA 6
12-dodekanlaktam (12-laurolaktam) PA 12	12	Poly(dodekanlaktam) nebo poly(laurolaktam) nebo poly(dodekanamid)	
Kyselina 11-aminoundekanová	11	Poly(11-aminoundekanamid)	PA 11
<b>Polyamidy na bázi aromatických monomerů</b>			
m-xylyléndiamin	MXD	Poly(m-xylylénadipamid)	MXD6
Kyselina adipová	6	Poly(arylamid)	PEBA
Trimethylhexamethyléndiamin	TMD	Poly(trimethylhexamethylén- tereftalamid)	TMDT
Kyselina tereftalová	T		
m-fenyléndiamin	-	Poly(m-fenylénisofaltamid)	(Nomex) <sup>a</sup>
Dichlorid kyseliny isoftalové			
p-fenyléndiamin	-	Poly(p-fenyléntereftalamid)	(Kevlar) <sup>a</sup>
Dichlorid kyseliny tereftalové			

<sup>a</sup> obchodní názvy

Pozn. PA 1212 se od roku 1991 nevyrábí

<b>PA 610 – Polyamide 610</b>		
<b>Type:</b> semi-crystalline (30 – 40%); (Dry/Std. Hum./Saturated)	<b>Structure:</b>	
<b>Characteristics:</b> low water absorption (3.3%), good dimensional stability	$\text{H}_2\text{N}-\left[\text{CH}_2\right]_6-\text{NH}_2$ hexamethylenediamine $\text{HOOC}-\left[\text{CH}_2\right]_8-\text{COOH}$ sebacic acid	
<b>Identified by:</b> milky white-yellow color, smell of burnt horn when burned, yellow flame with a blue halo, can be formed into a filament		
<b>Properties:</b>	<b>Stress-Strain Diagram:</b>	<b>Elastic Modulus f (Temp):</b>
$\rho = 1.07 - 1.09 \text{ g/cm}^3$ $E = 2200/1500/800 \text{ MPa}$ $\sigma_Y = 65/45/- \text{ MPa}$ $\epsilon_Y = 4/15/-\%$ $\epsilon_F = > 50\%$ $T_g = 77/48/19^\circ\text{C}$ $T_{pm} = 210 - 220^\circ\text{C}$		
<b>Thermal Limits:</b>		
Short-time ~ 140 - 160°C		
Long-time ~ 80 - 100°C		
<b>PA 6 – Polyamide 6</b>		
<b>Type:</b> semi-crystalline (30 – 40%); (Dry/Std. Hum./Saturated)	<b>Structure:</b>	
<b>Characteristics:</b> abrasion resistance, toughness, multifunctional, absorption of water up to 9.5%, often reinforced	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{O} \\   \quad    \\ \text{N} - \text{C} \\   \\ (\text{CH}_2)_5 \end{array}$ ε-caprolactam	
<b>Identified by:</b> milky white-yellow color, smell of burnt horn when burned, yellow flame with a blue halo, can be formed into a filament		
<b>Properties:</b>	<b>Stress-Strain Diagram:</b>	<b>Elastic Modulus f (Temp):</b>
$\rho = 1.12 - 1.15 \text{ g/cm}^3$ $E = 2800/1000/600 \text{ MPa}$ $\sigma_Y = 80/45/- \text{ Mpa}$ $\epsilon_Y = 4/25/-\%$ $\epsilon_F = 30/>50/-\%$ $T_g = \sim 78/28/-8^\circ\text{C}$ $T_{pm} = 225 - 235^\circ\text{C}$		
<b>Thermal Limits:</b>		
Short-time ~ 140 - 160°C		
Long-time ~ 80 - 100°C		

### PA 66 – Polyamide 66

**Type:** semi-crystalline (35 – 45%); (Dry/Std. Hum./Saturated)

**Characteristics:** high abrasion resistance, tough, aging and thermal resistance, absorption of water up to 8.5%, often reinforced

**Identified by:** milky white-yellow color, smell of burnt horn when burned, yellow flame with a blue halo, can be formed into a filament

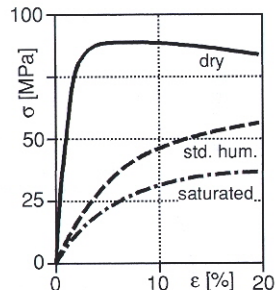
**Properties:**

$\rho = 1.13 - 1.16 \text{ g/cm}^3$   
 $E = 3000/1600/800 \text{ MPa}$   
 $\sigma_Y = 85/60/- \text{ Mpa}$   
 $\epsilon_Y = 5/20/-\%$   
 $\epsilon_F = 25/>50/-\%$   
 $T_g = -90/39/-6^\circ\text{C}$   
 $T_{pm} = 255 - 265^\circ\text{C}$

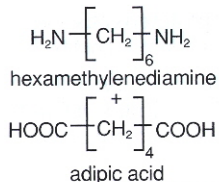
**Thermal Limits:**

Short-time ~ 140 - 170°C  
 Long-time ~ 80 - 100°C

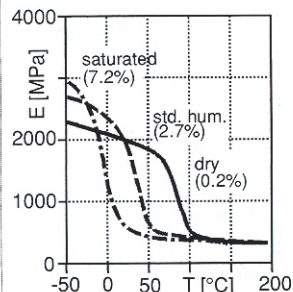
**Stress-Strain Diagram:**



**Structure:**



**Elastic Modulus f (Temp):**



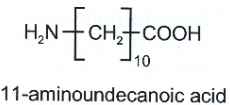
### PA 11 – Polyamide 11

**Type:** semi-crystalline (35 – 45%); (Dry/Std. Hum./Saturated)

**Characteristics:** high toughness, low water absorption (standard humidity 1.1%, saturated 1.8%)

**Identified by:** milky white-yellow color, smell of burnt horn when burned, yellow flame with a blue halo, can be formed into a filament, melt drips

**Structure:**



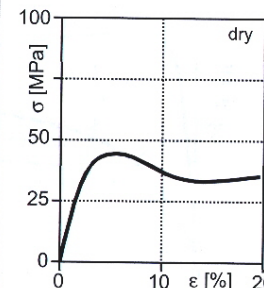
**Properties:**

$\rho = 1.03 - 1.05 \text{ g/cm}^3$   
 $E = 1400/1200/- \text{ MPa}$   
 $\sigma_Y = 45/40/- \text{ MPa}$   
 $\epsilon_Y = 5-10/10-30/- \%$   
 $\epsilon_F = > 50\%$   
 $T_g = 49/ - / -^\circ\text{C}$   
 $T_{pm} = 185^\circ\text{C}$

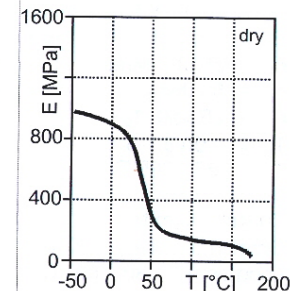
**Thermal Limits:**

Short-time ~ 140°C  
 Long-time ~ 70 - 80°C

**Stress-Strain Diagram:**



**Elastic Modulus f (Temp):**



### PA-6-3-T – Amorphous Polyamide

**Type:** amorphous; (Dry/Std. Hum./Saturated)

**Characteristics:** toughness, absorption of water up to 7.5%

**Identified by:** transparency, smell of burnt horn when burned, yellow flame with a blue halo, can be formed into a filament, melt drips

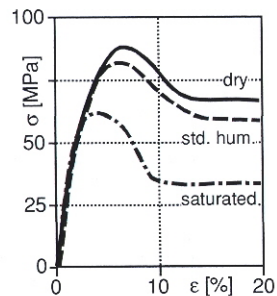
**Properties:**

$\rho = 1.12 - 1.15 \text{ g/cm}^3$   
 $E = 2800/2700/2200 \text{ MPa}$   
 $\sigma_Y = 90/85/65 \text{ MPa}$   
 $\epsilon_Y = 7/6/5\%$   
 $\epsilon_F = 20 - > 50\%$   
 $T_g = \sim 152/114/97^\circ\text{C}$

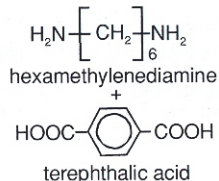
**Thermal Limits:**

Short-time ~ 120°C  
 Long-time ~ 80°C

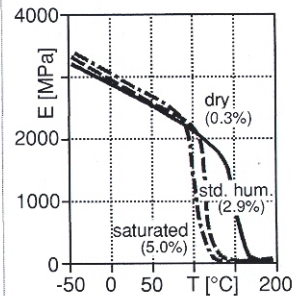
**Stress-Strain Diagram:**



**Structure:**



**Elastic Modulus f (Temp):**



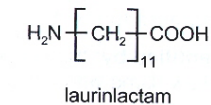
### PA 12 – Polyamide 12

**Type:** semi-crystalline (35 – 45%); (Dry/Std. Hum./Saturated)

**Characteristics:** low density, resistance to stress cracking, low water absorption (standard 0.7%, saturated 1.5%)

**Identified by:** milky white-yellow color, smell of burnt horn when burned, yellow flame with a blue halo, can be formed into a filament, melt drips

**Structure:**



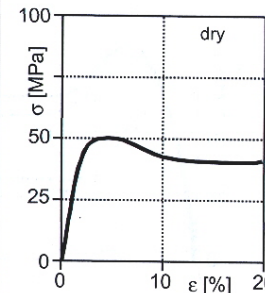
**Properties:**

$\rho = 1.01 - 1.04 \text{ g/cm}^3$   
 $E = 1400/1100/570 \text{ MPa}$   
 $\sigma_Y = 50/40/- \text{ MPa}$   
 $\epsilon_Y = 4/12/-\%$   
 $\epsilon_F = \sim 200 \%$   
 $T_g = 49/ - / -^\circ\text{C}$   
 $T_{pm} = 170 - 180^\circ\text{C}$

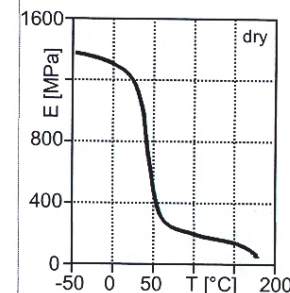
**Thermal Limits:**

Short-time ~ 140°C  
 Long-time ~ 70 - 80°C

**Stress-Strain Diagram:**



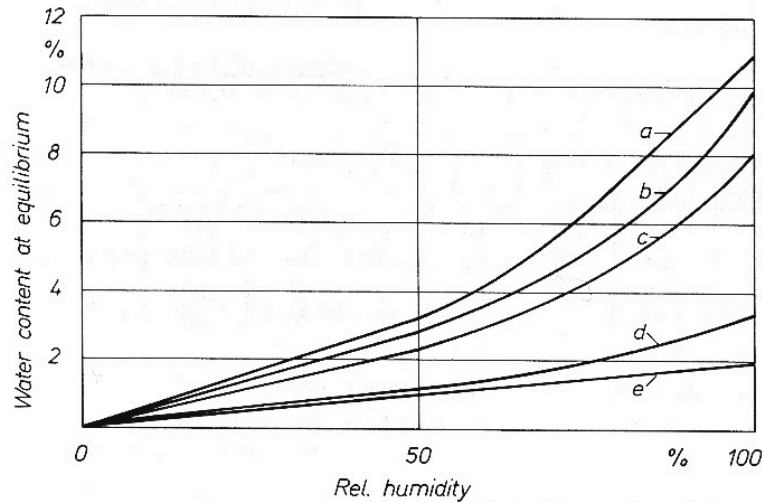
**Elastic Modulus f (Temp):**





Vlastnost	při vzrůstajícím obsahu sorbované vody	při vzrůstajícím podílu krystalické fáze
Modul pružnosti v tahu	klesá	roste
Napětí při protažení	klesá	roste
Rázová houževnatost	roste	klesá
Poměrné prodloužení při přetržení	roste	klesá
El. izolační vlastnosti	klesají	-
Dielektrická konstanta	roste	klesá
Sorpce vody	-	klesá
Chemická odolnost	-	roste
Propustnost světla	-	klesá

Polyamid	Sorpce vody při 23 °C [hmot. %]	
	50% rel. vlhkost	100% rel. vlhkost
PA 46	3,8	15,0
PA 66	2,5	8,5
PA 69	1,8	4,5 - 5,0
PA 610	1,4	3,3
PA 612	1,2	3,0
PA 6	2,8	9,5
PA 11	1,0	1,9
PA 12	0,8	1,6
MXD6	1,9	5,8
TMDT	3,0	7,0



**Fig. 346**  
Water absorption and conditioning for various types of PA  
a PA 6,  
b PA 6/610/66,  
c PA 66,  
d PA 610,  
e PA 11

Polyamid	$E_t$ [GPa]	$\sigma_t$ [MPa]	$E_f$ [GPa]	$a_k$ [J/m]
PA 46	3,0	99	3,2	96
PA 66	3,2	83	2,8	53
PA 69	1,9	-	2,3	37
PA 610	2,4	59	2,0	53
PA 612	2,1 <sup>x</sup>	61	2,0	53
PA 6	3,0	81	2,7	53
PA 11	-	59	1,2	40
PA 12	1,5 <sup>x</sup>	55	1,4	60
MXD6	4,7	83	4,4	20
TMDT	2,8	-	2,7	69

$E_t$  - modul pružnosti v tahu podle ASTM D638  
 $\sigma_t$  - mez pevnosti v tahu ASTM D638  
 $E_f$  - modul pružnosti v ohybu ASTM D790  
 $a_k$  - vrubová houževnatost Izod  
<sup>x</sup> - podle DIN 53457

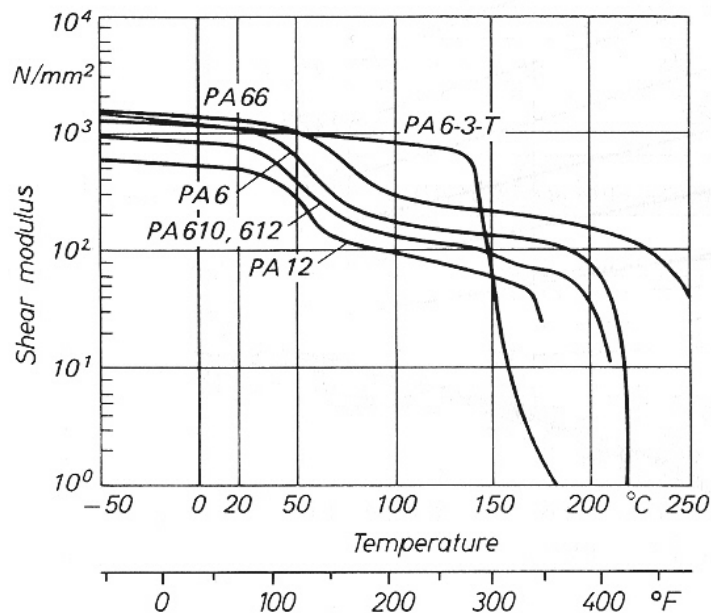
PA – vlastnosti v suchém stavu

PA – vliv vlhkosti

# PA – vliv teploty, plniva

Polyamid	Obsah skleněných vláken [%]	Vrubová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ] (DIN 53453)	
		suchý vzorek	vzorek kondicionovaný 20 °C/65 % rel. vlhkost
PA 6	0	3-6	nepřerazí se
	35	14	18
PA 66	0	2-3	12-20
	35	13	14
PA 610	0	4-10	13-15
TMDT	0	10-15	-

Obsah skleněných vláken [%]	0	5	10	20	25	30	35
Vrubová houževnatost [kJ/m <sup>2</sup> ]	3,0	3,3	4,6	8,4	11,2	16,1	17,1



**Fig. 300**

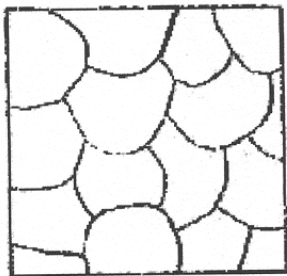
Temperature dependence of the shear modulus of polyamides (dry)

# Polymerní směsi

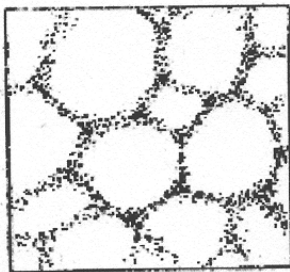
Polymerní směsi lze rozdělit podle mísitelnosti do tří kategorií:

- - směsi mísitelných polymerů s homogenní jednofázovou strukturou (PPO/PS, SMA/SAN),
- - směsi omezeně mísitelných polymerů s dvoufázovou strukturou s dobrou adhezí (PC/ABS, PC/PBT)
- - směsi nemísitelných polymerů s heterogenní strukturou s modifikací mezifázové vrstvy (PS/PE, PA/ABS, PPO/PA)

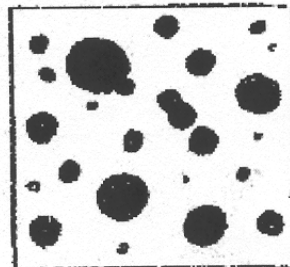
Již několik let jsou dostupné směsi ABS a PC. Jejich mechanické vlastnosti, zejména vysoká rázová pevnost, z nich činí konkurenční materiál k dražším plastickým hmotám. ABS se rovněž mísí s PSU a PVC (použití na díly karosérií a nárazníky automobilů).



a



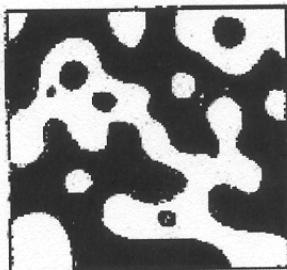
b



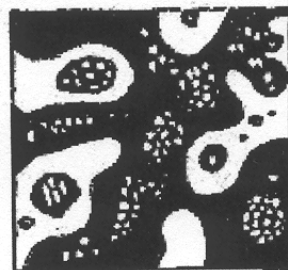
c



d



e



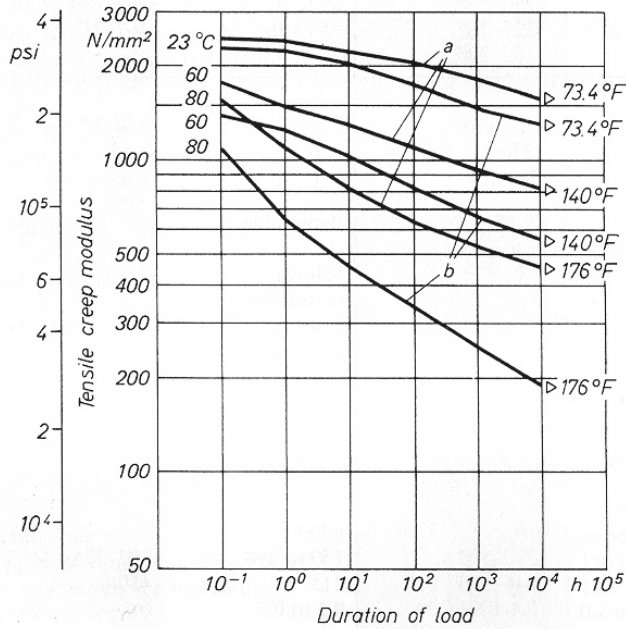
f

# Polymerní směsi

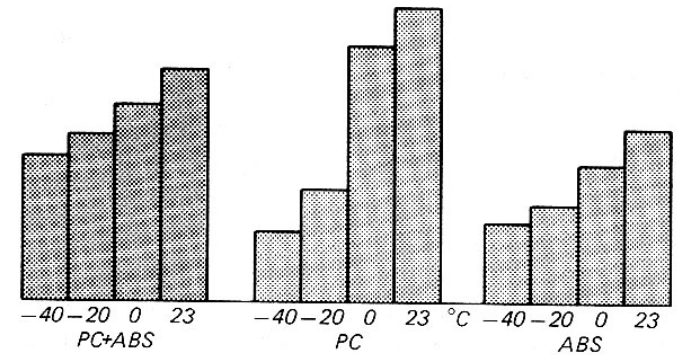
a) kondenzační, b) koagulační, c) globulární, d) globulární s vnitřními inkluzemi, e) f) inverzní s vnitřními inkluzemi

- A) Jednotlivé složky na rozdíl od kopolymerů uchovávají i ve směsi individuální vlastnosti.
- B) Nejčastěji jde o směsi amorfních a krystalických polymerů s nejrůznějšími typy kaučuků nebo termoplastických elastomerů.
- C) PP/EPDM – zvýšená houževnatost za nízkých teplot,  
ABS/PC – zvýšení tuhosti a pevnosti,  
ABS/PA – zlepšení tekutosti a vzhledu,

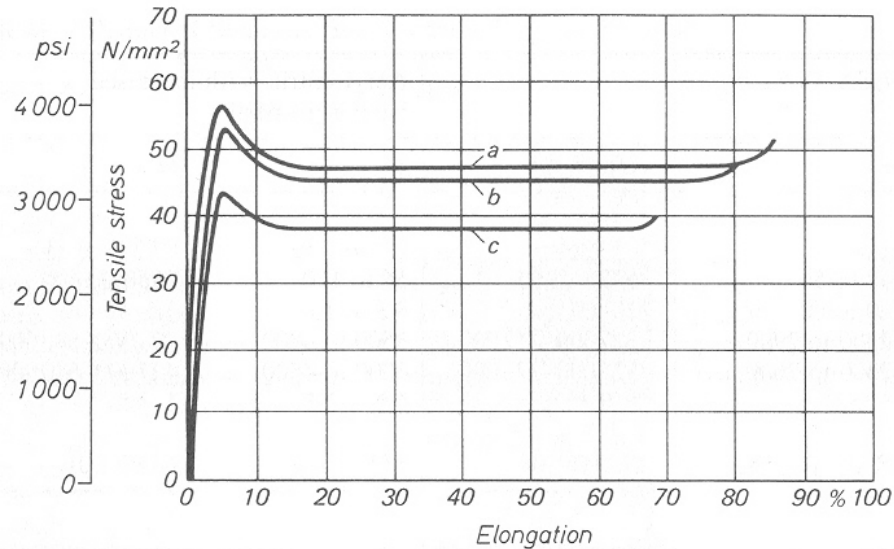
# Polymerní směsi – vlastnosti



**Fig. 163**  
Tensile creep modulus of two (ABS + PC) blends  
*a* Bayblend T 85 MN,  
*b* Bayblend T 45 MN  
(Source: Bayer)



**Fig. 162**  
Stress/strain diagram for various (ABS + PC) blends  
*a* Bayblend T 85 MN,  
*b* Bayblend T 65 MN,  
*c* Bayblend T 45 MN  
(Source: Bayer)



## PC+ABS – PC + ABS Blend

**Type:** amorphous, blend

**Characteristics:** high dimensional stability, good thermal stability, impact-resistance, ability to be galvanized

**Identified by:** opaqueness, smells sweet (styrene) when burned, bright flame, soot forming

### Properties:

$$\rho = 1.08 - 1.17 \text{ g/cm}^3$$

$$E = 2000 - 2600 \text{ MPa}$$

$$\sigma_Y = 40 - 60 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_Y = 3.0 - 3.5\%$$

$$\epsilon_F = > 50\%$$

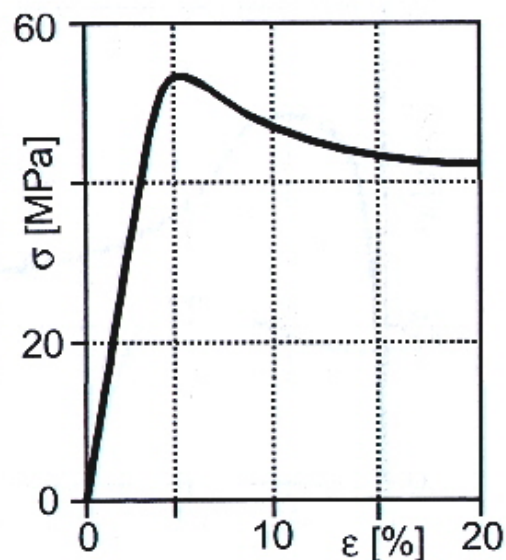
$$T_g = -85/105/145^\circ\text{C}$$

### Thermal Limits

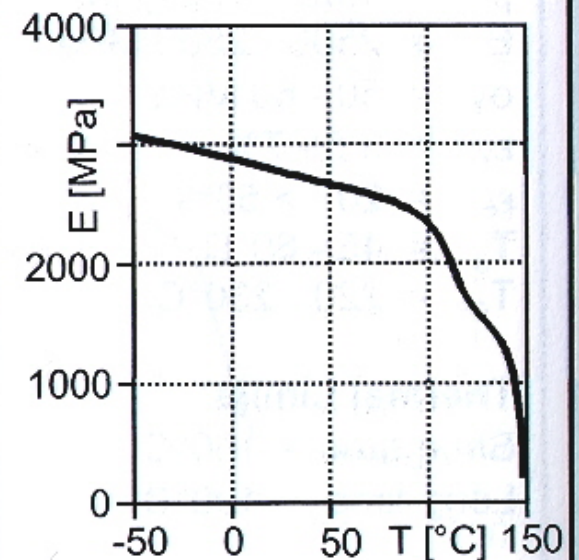
Short-time ~ 115 - 130°C

Long-time ~ 105 - 115°C

### Stress-Strain Diagram:



### Elastic Modulus f (Temp):



# Plasty – auto - aplikace

	držáky, klíčky	kostra palubní desky	palubní deska	součásti brzd	nárazník	systém chlazení	součásti karburátoru	přístrojová deska, prvky	vnější kliky	elektrické komponenty	palivová nádrž	přední maska	držák palivové nádrže	palivové potrubí	řadící páka	mřížka	výplň sedaček	součásti zapalování	části potrubí	kryty přístrojů	vnitřní vybavení	světla a jeho součásti	okolí volantu	zpětná zrcátka	přístrojová deska	sedadla	zvuková izolace	volant	prvky pod kapotou	těsnění	části vodního čerpadla	podběhy blatníky	mechanismus ovládání oken	
ASA								*							*																			
ABS			*					*							*						*		*											*
PA		*				*				*	*		*	*	*			*	*				*		*		*		*		*			
PVC								*											*		*													
EP, PF				*																									*					
POM	*						*		*	*				*	*														*					*
PBT	*								*	*					*		*		*				*						*					
PC					*					*										*		*		*		*		*						
PEI							*										*									*								
PET										*													*						*					
PE										*	*											*										*		
PMMA								*											*	*		*			*									
PPS							*			*								*										*						
PPO								*							*																			
PPA						*				*		*										*							*					
PP		*	*	*	*			*			*	*	*	*	*					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PTFE	*																																	
PUR																										*	*							
PUR (pro RIM)		*	*	*	*			*								*												*						
UP		*	*	*	*						*	*	*	*	*	*												*	*	*	*	*	*	*

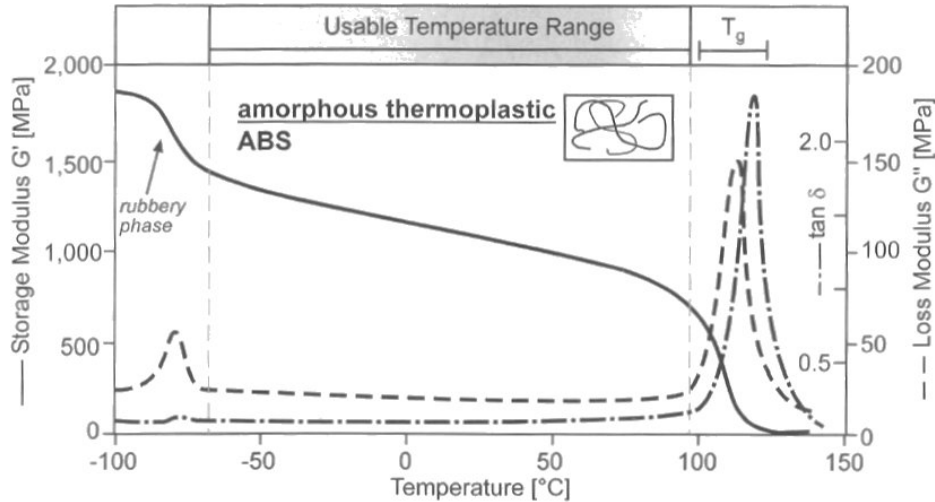
# Plasty – přechodové teploty

- $T_g$  = teplota zeskenění (termoplasty, reaktoplasty, elastomery, pod ní je materiál ve stavu sklovitém, nad ní ve stavu kaučukovitém, nejrychlejší změny u amorfních termoplastů, obtížně se zjišťuje)
- $T_f$  = teplota viskózního toku (horní hranice pro amorfní termoplasty, změna ve viskózní kapalinu)
- $T_m$  = teplota tání krystalitů (nejrychlejší změny u krystalických plastů, probíhá tání krystalitů, amorfní struktura)
- $T_d$  = teplota degradace (změna vlastností hmoty)
- $T_b$  = teplota křehnutí (teplota, při níž se těleso poruší křehkým lomem u namáhání rázem)
- $T_{ts}$  = teplota tvarové stálosti
- $T_h, T_z, T_s$  = teplota hoření, zapálení, samovznícení

Glass transition temperature: measured statically	-10°C/14°F
measured dynamically depending on frequency	0-20°C/32-68°F
Crystallite melting range	160-168°C/320-333°F
Recrystallization temperature (measured by slow cooling of the stirred melt)	115-135°C/239-275°F



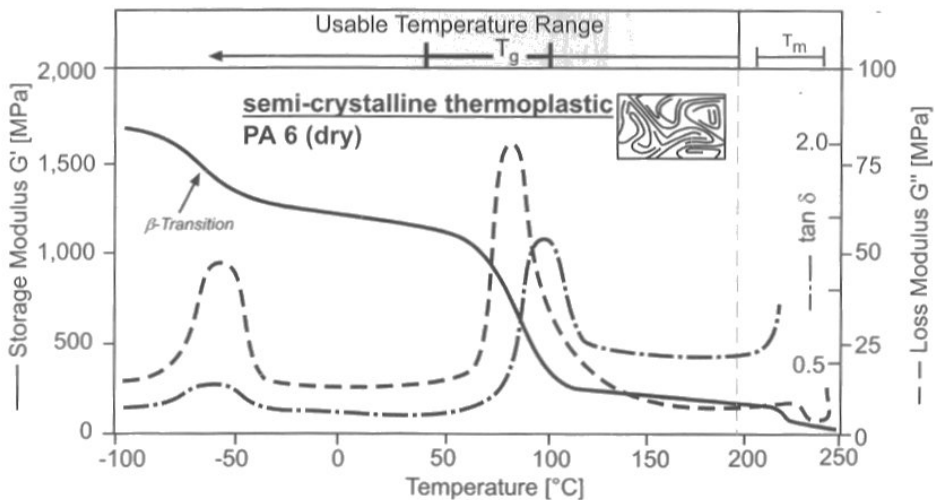
# Plasty – přechodové teploty



změna vlastností  
skokem

amorfní

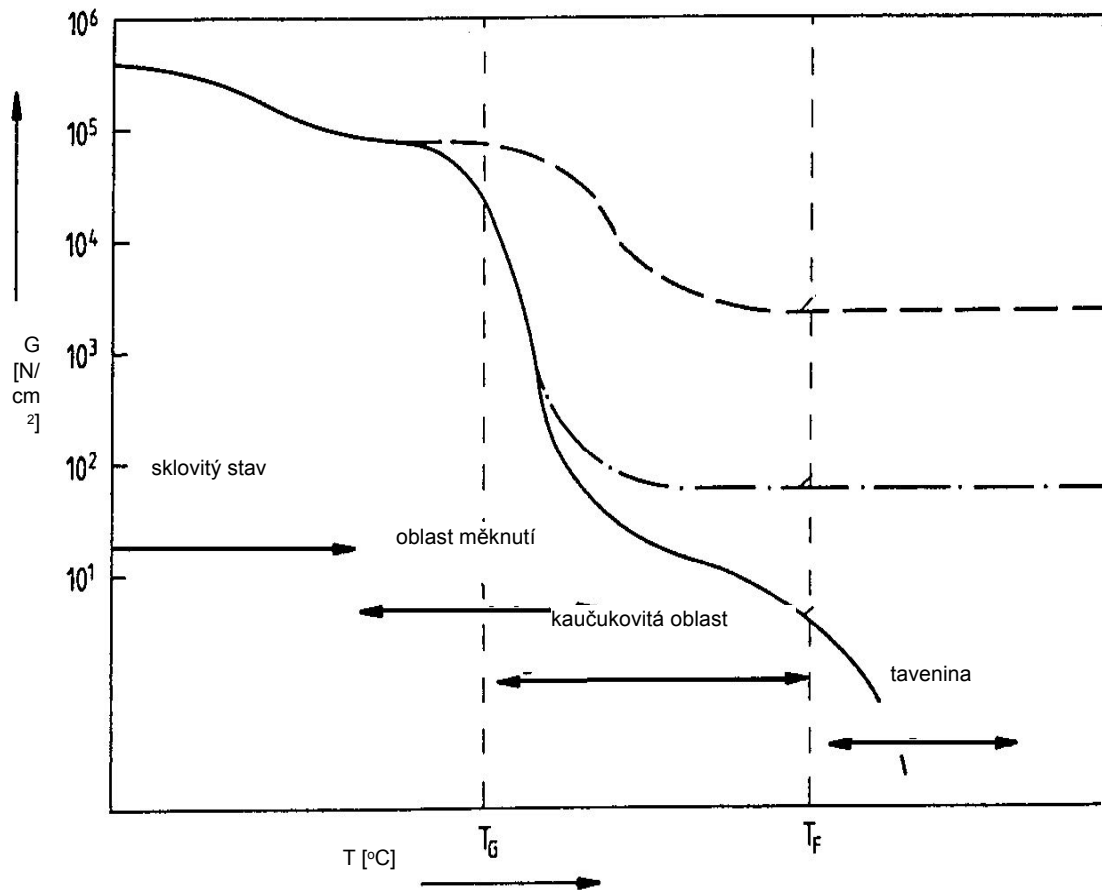
- $T_g$
- $T_f$



semikrystalické

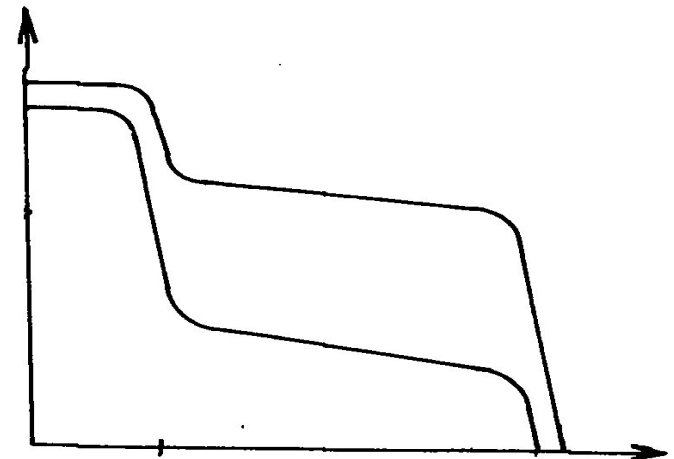
- $T_g$
- $T_m$

# Plasty – přechodové teploty

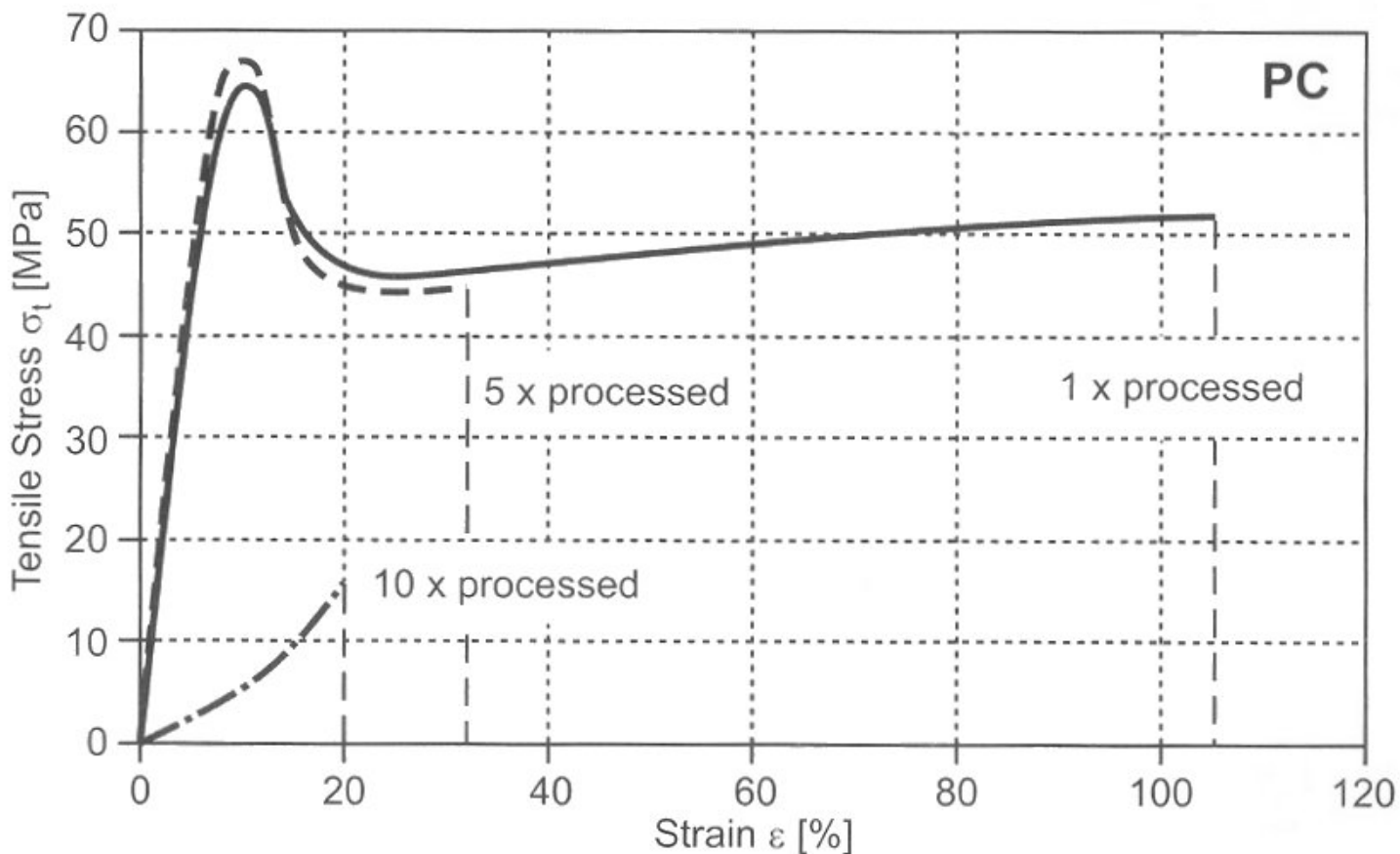


Vliv hustoty  
zesíťování na modul  
pružnosti

Vliv stupně  
krystalinity na modul  
pružnosti



# Plasty – vliv počtu tepelných cyklů



Vliv počtu zpracovatelských procesů na  
mechanické vlastnosti PC (tah)

# Plasty – hustota

Zkratka	Název	Hustota [kg.m <sup>-3</sup> ]
PE-LD	polyethylén nízkohustotní (rozvětvený, vysokotlaký)	914 - 928
PE-MD	polyethylén středohustotní	926 - 940
PE-HD	polyethylén vysokohustotní (lineární, nízkotlaký)	940 - 965
PE-LLD	polyethylén lineární nízkohustotní	926 - 936
PP	polypropylén	905 - 907
PP/SV	polypropylén plněný skleněnými vlákny	1150 - 1220
PS	polystyrén standardní	1050 - 1100
PS/SV	polystyrén standardní plněný skleněnými vlákny	1200 - 1330
PS-HI (S/B)	polystyrén houževnatý (kopolymer styrén-butadién)	1040 - 1060
SAN	kopolymer styrén-akrylonitril	1070 - 1090
SAN/SV	kopolymer styrén-akrylonitril plněný skleněnými vlákny	1200 - 1460
ABS	terpolymer akrylonitril-butadién-styrén	1040 - 1100
ABS/SV	terpolymer ABS plněný skleněnými vlákny	1230 - 1360
PVC-E	polyvinylchlorid emulzní neměkčený (tvrdý)	1380 - 1390
PVC-S	polyvinylchlorid suspenzní neměkčený	1380 - 1390
PVC-P	polyvinylchlorid měkčený (měkký)	1190 - 1280
PCTFE	polychlórtrifluórethylén	2100
FEP	perfluorovaný kopolymer ethylén/propylén (tetrafluórethylén-hexafluórpropylén)	2000 - 2100
PMMA	polymethylmethakrylát	1180
PA 6	polyamid 6 (polykaprolaktam)	1120 - 1140
PA 6/SV	polyamid 6 plněný skleněnými vlákny	1280 - 1360
PA 66	polyamid 66 (polyhexamethylénadipamid)	1130 - 1150
PA 66/SV	polyamid 66 se skleněnými vlákny	1280 - 1360
PA 11	polyamid 11 (poly- $\omega$ -aminoundekanamid)	1040 - 1050
PA 11/SV	polyamid 11 se skleněnými vlákny	1260 - 1300
PA 12	polyamid 12 (polylaurinlaktam)	1010 - 1020
PA 12/SV	polyamid 12 se skleněnými vlákny	1210 - 1250
POM	polyoxymethylén (polyformaldehyd, polyacetál)	1410 - 1430
POM/SV	polyoxymethylén se skleněnými vlákny	1600 - 1620
PPO	polyfenylénoxid	1060
PPO/SV	polyfenylénoxid se skleněnými vlákny	1200 - 1270
PC	polykarbonát	1200 - 1210
PC/SV	polykarbonát se skleněnými vlákny	1420 - 1520
PET	polyethyléntereftalát (polyethylénglykoltereftalát)	1370 - 1380
PET/SV	polyethyléntereftalát se skleněnými vlákny	1600 - 1610
PBT	polybutyléntereftalát (polybutylénglykoltereftalát)	1300
CA	acetát celulózy	1300 - 1310
CAB	acetobutyrát celulózy	1180 - 1210
CP	propionát celulózy	1180 - 1240

Hustota u plastů je mnohem menší než u kovů. To je dáno jejich chemickým složením. Základem plastů jsou prvky s nízkou atomovou hmotností **C** a **H**. To je i příčinou malých mezimolekulárních sil.

Nejmenší hustotu vykazují nepolární polymery – síly mezi molekulami jsou nejslabší.

**O** a **N** způsobuje zvýšení hustoty, **Cl** a **F** mají největší vliv + velké mezimolekulární síly.

Hustota závisí na chemickém složení, na množství přísad a nadmolekulární struktuře (pravidelně poskládané polymerní molekuly zaujmou menší prostor, a mají tedy vyšší hustotu, než neuspořádaná amorfní fáze).

Přísady:

- snížení hustoty - plniva s nižší hustotou než ZM, tj. změkčovadla, nadouvadla (50x lehčí než voda)

- zvýšení hustoty - plniva a přísady

# Plasty – navlhavost a nasákavost

Plast	Navlhavost ve vzduchu (65% rel. vlhk.) [%]	Nasákavost ve vodě	Max. přípustná vlhkost v granulátu [%]	Teplota/Doba sušení [°C/h]
PE-LD	0	nenavlhá (<0,1)		
PE-MD	0	nenavlhá (<0,1)		
PE-HD	0	nenavlhá (<0,1)		
PE-LLD	0	nenavlhá (<0,1)		
PP	0	nenavlhá (<0,1)		
PP/SV	0	nenavlhá		
PS	0	nenavlhá (<0,1)	<0,1	zcela v výjimečně 60-80/1-3
PS/SV	0	zanedbatelná		výjimečně 80-100/0,5 až 1
PS-HI	<0,1	0,05 - 0,15		výjimečně 60/2
SAN			<0,1	70-80/1-4
SAN/SV			<0,1	70/6
ABS			<0,1	70-80/4
ABS/SV	<0,5	<1,0	<0,1	80/6
PVC-E	<0,3	<1,0	<0,1	60-70/2
PVC-S	<0,3	<1,0	<0,1	60-70/2
PVC-P	<0,3	0,5 - 1,0	<0,1	50-60/2
PCTFE	0	0	<0,1	(140/2-4)
FEP	0	<0,1	<0,1	(150/2-4)
PMMA	0,8 - 1,2	2,0 - 2,2	<0,1	70-80/12-24
PA 6	3,0 - 3,5	9.XI	<0,1	80-90/6-12 nebo ve vakuu 80-110/4
PA 6/SV	1,5 - 2,0	5,5	<0,1	viz PA 6
PA 66	2,5 - 3,0	8.IX	<0,1	70-80/24-30
PA 66/SV	1,0 - 1,5	5	<0,1	viz PA 66
PA 11	0,8 - 1,2	1,8 - 2,0	<0,1	70-80/3-5
PA 11/SV	0,4 - 0,6	1,0 - 1,5	<0,1	viz PA 11
PA 12	0,8	1,5	<0,1	100-110/2-6
PA 12/SV	0,6	1,2	<0,1	100-110/2-6
POM	0,25	0,8	<0,1	80-110/1-3
POM/SV			<0,1	80-110/1-2
PPO	<0,1	0,1		není nutné (90-110/2-4)
PPO/SV			<0,1	(120/2-4)
PC	0,15 - 0,20	0,25 - 30	<0,1	110-120/4-12
PC/SV			<0,1	110-120/4-12
PET	0,3	0,6	<0,1	120-140/5-7
PET/SV				90-140/2-6
PBT	0,25	0,5		90-120/2-5
CA	<2,5	3.VI	<0,25	55-75/3
CAB			<0,25	55-85/2-3
CP			<0,25	

O navlhavosti se mluví tehdy, jestliže plast absorbuje vodu v podobě páry z ovzduší. Přijímá-li vodu v kapalně fázi, to znamená tehdy, kdy je v ní ponořen, jde o nasákavost. Nejvíce absorbují vodu polární plasty s hydrofilními skupinami v makromolekule, např. PA, CA, PC a další. Nepolární polymery, jako PE, PP, PS, vodu prakticky nepřijímají. Maximálně přípustný obsah vlhkosti ve hmotě určené pro vstřikování závisí kromě druhu plastu i na podmínkách vstřikování, zejména na teplotě taveniny. Obecně platí, že čím vyšší je teplota taveniny, tím je přípustný obsah vlhkosti nižší.

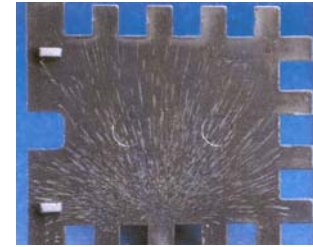
U navlhavých plastů se musí počítat se změnami rozměrů, jež jsou spojeny s navlháním nebo vysycháním. Navlhání se projevuje zvětšováním rozměrů, vysychání jejich zmenšováním. Jedná se rovněž o vratné děje. Při zahřívání plastu nad 60 °C začíná převládat vysušování a při ohřevu nad 80 °C klesá obsah vody rychle na nulu.

Uvedené hodnoty teploty sušení a doby sušení lze považovat za optimální. Zejména je třeba se vyvarovat používání vyšších teplot, protože by mohlo dojít k natavování povrchu granulí a jejich spečení. Tím se materiál znehodnotí. U některých plastů, zejména světlých barev, mohou být termooxidační změny příčinou žloutnutí až zhnědnutí materiálu. V takových případech jsou vhodné sušárny vakuové.

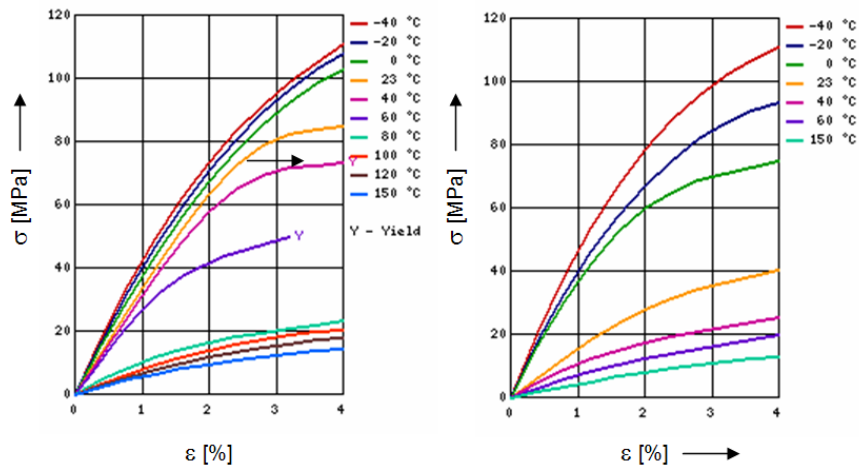
Rychlost sušení, vliv ročního období, vázání vlhkosti, rozdělení plastů, vliv na teploty, apod.

# Navlhavost - důsledek

- ❑ zhoršení kvality výrobků ... vlhkostní šmouhy
- ❑ změna reologických vlastností
- ❑ pokles mechanických, tepelných a elektrických vlastností plastů



VLHKOSTNÍ ŠMOUHY



KONDICIONOVÁNO

PA 66 Ultramid A3K

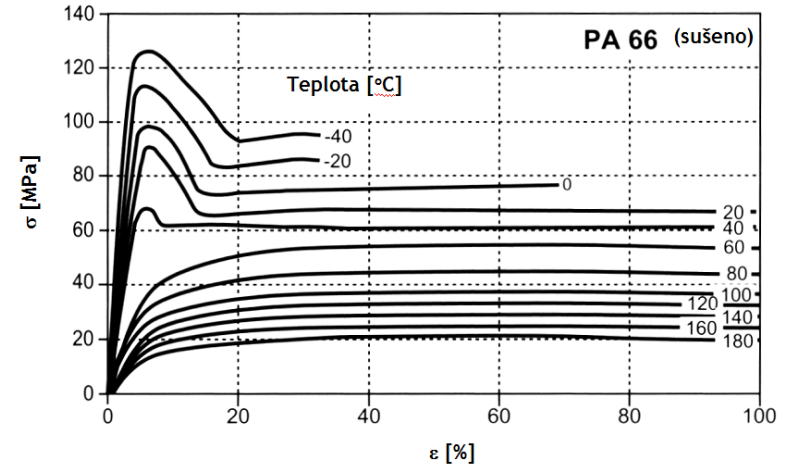
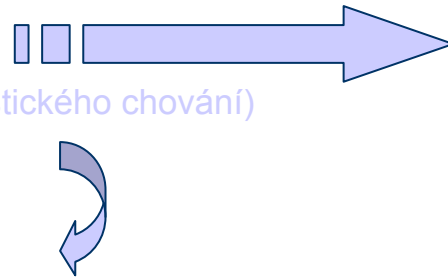
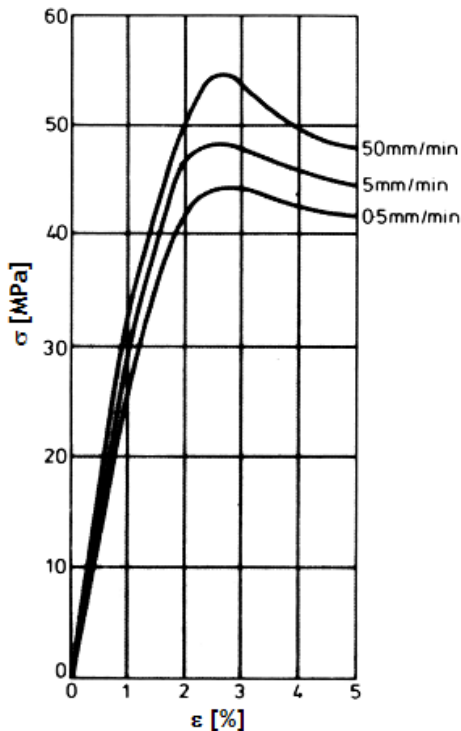
SUŠENO

Příklad PA66 Ultramid A3K - zpracování vstřikováním - sušení při T=80°C po dobu t= 10hod.				
	$E_t$ [MPa]	$\sigma_y$ [MPa]	$\epsilon_y$ [MPa]	$a_{cA}$ [KJ/m <sup>2</sup> ]
sušeno	3000	85	5	5
kondicionováno	1100	50	20	25

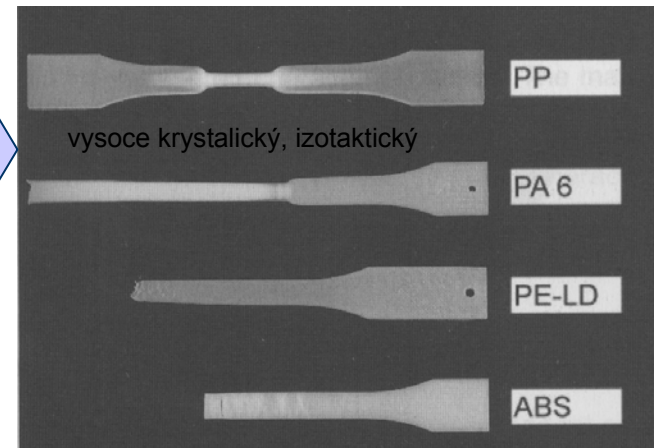
# Tahové vlastnosti - vlivy

Tahové vlastnosti plastů závisí na:

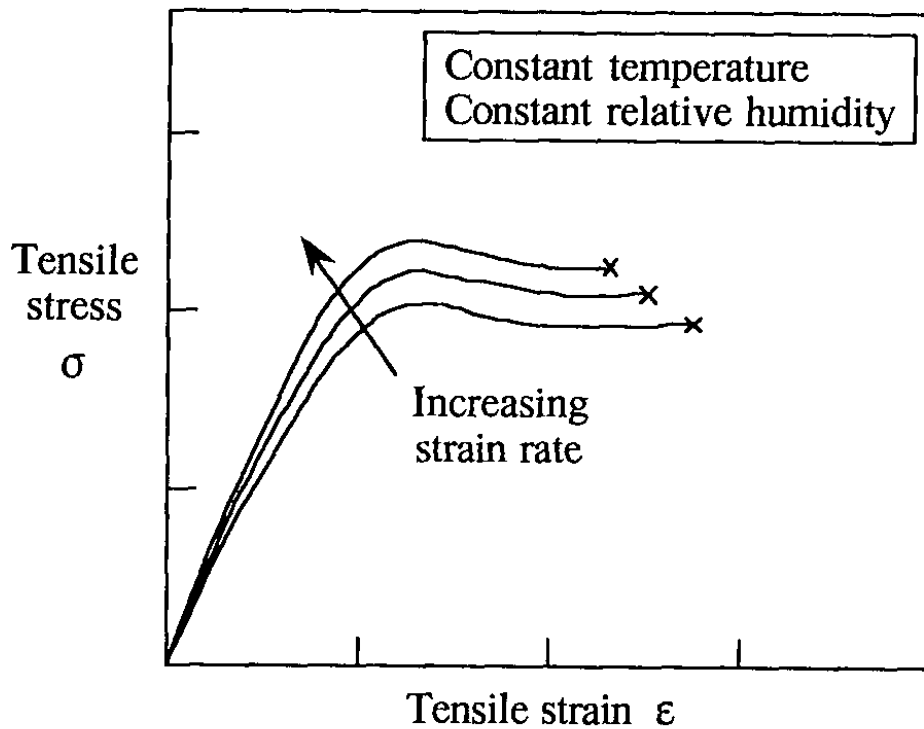
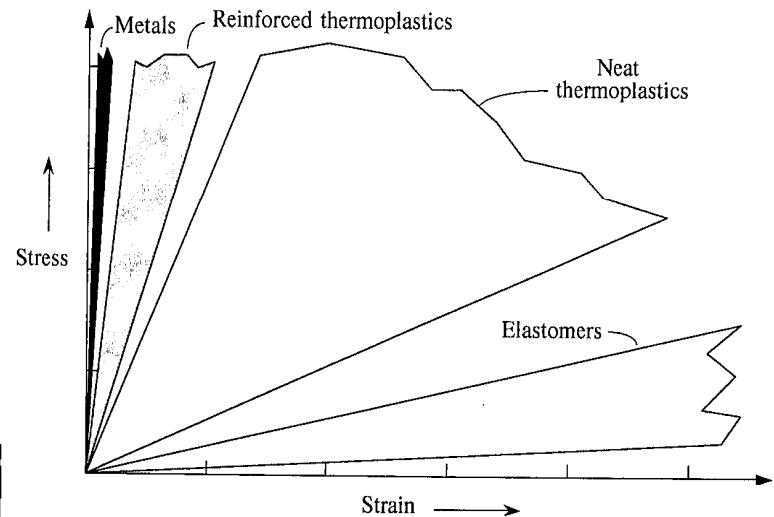
- teplotě
- času (důsledek viskoelastického chování)



- technologických podmínkách výroby
- aditivech
- molekulární
- nadmolekulární struktuře
- chemickém složení plastu
- geometrii zkušební tělesa

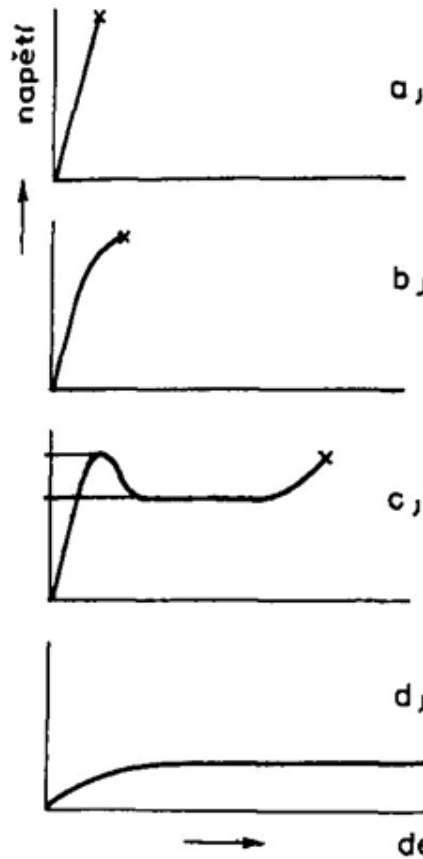


# Statické tahové zkoušky





# Deformační křivky polymerů



amorfni termoplast hluboko pod  $T_G$ , reaktoplast a kompozitni material s vyztužujicim plnivem

$E_t = 5\,000 - 50\,000$  MPa ... počítá se z lineární části deformační křivky. Oblast linearit (platnost Hookova zákona) nepřesahuje u polymerů 1%.

$$\epsilon_B = 2 - 5 \%, \sigma_y = \sigma_M = \sigma_B,$$

amorfni termoplasty za  $T_o$ , semikr. termoplasty s  $\uparrow$  SK (95%)

$$E_t = 2\,000 - 5\,000$$
 MPa

$$\epsilon_B = 20 - 50 \%$$

semikrystalické termoplasty za  $T_o$

$$E_t = 100 - 2\,000$$
 MPa

$$\epsilon_B = 200 - 500 \%$$

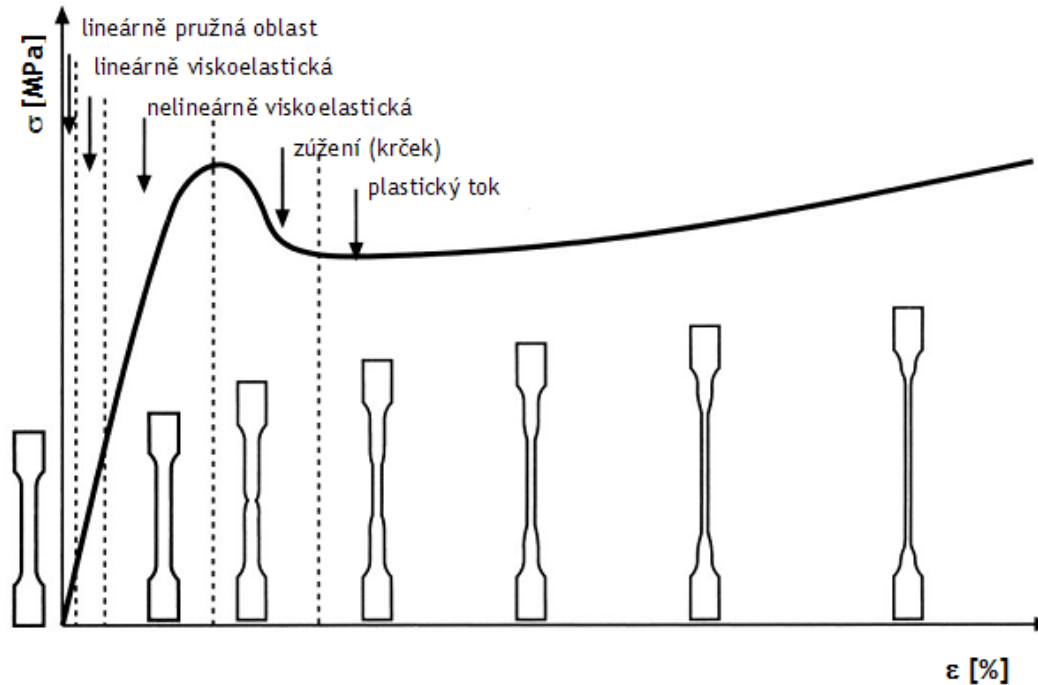
kaučuky

$$E_t = 1 - 10$$
 MPa

$$\epsilon_B = 500 - 1000 \%$$

pozn:  $\sigma_y$ ... max. napětí při provozu součásti, pak jsou již velké deformace

# Deformační křivka TP s ↓ SK



Stanovení:

$\sigma_y$ ,  $\sigma_M$ ,  $\sigma_B$ ,  $\epsilon_y$ ,  $\epsilon_M$ ,  $\epsilon_B$ ,  $E_t$ ,  $E_k$ ,  $\mu \rightarrow (0,3 \text{ až } 0,4) \dots \text{max. } 0,5 \text{ kaučuk. stav}$

# Tvrdość

Tvrdość plastů se měří různými způsoby, neexistuje univerzální metoda pro tvrdé reaktoplasty a měkké elastomery.

Brinel u tvrdých, Shore D u středně tvrdých, Shore A měkké plasty a elastomery. Výsledky různých zkoušek nelze vzájemně přepočítat.

Zkratka plastu	Brinell	Zkratka plastu	Brinell
rPE	20	POM	130–160
lPE	40–50	POM + SV	160–180
PP	50–70	PC	90–110
PB	30–40	PC + SV	130–150
PVC	70–120	PETP, PBTP	100–140
PVC měkčený	10–70	PETP + SV, PBTP + SV	140–230
PS	150–160	PPO/PS	90–100
hPS	100–130	PPO/PS + SV	120–140
SAN	160–170	PTFE	30
ABS	50–90	PVDF	100
ASA	80–100	CA, CP, CAB	40–100
PMMA	180–200	PF + dřevitá moučka	200
PA 6 vlhký až suchý	40–130	PF + minerální moučka	200–250
PA 6 + SV	130–240	PF vrstvený papír nebo tkanina	130
PA 66 vlhký až suchý	80–140	UP skelný laminát	200–300
PA 66 + SV	140–220	PUR zesílovaný	10–60
PA 11, PA 12	80–100		
PA 11 + SV, PA 12 + SV	130–140		

# Metoda Shore

ČSN EN ISO 868

Hodnota tvrdosti, která závisí na modulu pružnosti a na viskoelastických vlastnostech materiálu, je nepřímo úměrná hloubce vtlačení hrotu

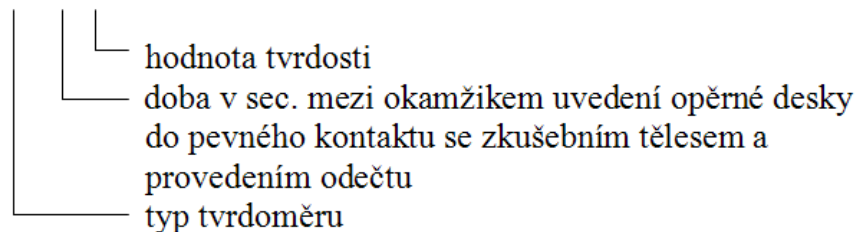
**Shore A** ... pro měkčí materiály (přítlačná síla 10 N), komolý kužel

**Shore D** ... pro tvrdší materiály (přítlačná síla 50 N), kužel

**Doba odečtu tvrdosti:** do 1 s ... okamžitá hodnota tvrdosti  
po 15 s

*Možný způsob označení metody:*

Shore A/15:45



# Namáhání rázem

Houževnatost patří spolu s pevností k nejdůležitějším materiálovým charakteristikám. Houževnatost představuje obecně komplexní vlastnost zatěžovaného tělesa, která souvisí zejména se schopností materiálu odolávat iniciaci a šíření trhliny, tedy s jeho lomovou houževnatostí.

Lom - křehký  
- houževnatý

Výsledky stanovení houževnatosti závisí:

- na druhu plastu
- na složení
- na teplotě
- na zkušební metodě
- na provedení zkoušky
- na tvaru zkušebního tělesa
- hodnoty stanovené různými zkouškami nelze srovnávat

# Plasty – tepelné vlastnosti

## **Teplotní rozsah použitelnosti:**

- teoretické teploty použitelnosti bez namáhání - amorfní  $T_g$ , - semikrystalické  $T_m$
- max. teplotu je nutno volit podle velikosti namáhání (min  $T_g - 10-20^\circ\text{C}$ ,  $T_m - 20-40^\circ\text{C}$ )
- min. teplota omezena způsobem namáhání – rázem,  $T_b$  – teplota zkřehnutí

## **Odolnost vůči zvýšeným teplotám:**

Zkouška tvarové stálosti podle Martense: ohyb konstantní napětí, růst teploty do smluvené deformace -> teplota

Zkouška teplotní odolnosti dle Vicata – jehla  $1\text{mm}^2$  vnikne do 1mm

## **Teplotní roztažnost:**

K velkým změnám rozměrů dochází v důsledku měnící se teploty okolí. Je-li teplota vyšší než  $23^\circ\text{C}$ , rozměry se zvětšují, při nižších teplotách se zmenšují. Protože plasty mají proti oceli asi desetkrát větší součinitel teplotní roztažnosti, jsou změny rozměrů u plastů daleko výraznější. Často kolísání teploty způsobuje větší změny rozměrů, než jsou změny rozměrů způsobené kolísáním technologických veličin při vstřikování. Změny rozměrů spojené se změnou teploty jsou vratné.

$\alpha$  - součinitel teplotní délkové roztažnosti - závisí na druhu plastu, na struktuře, na složení a na uvažované teplotní oblasti. Při ohřevu dochází k oslabení mezimolekulárních sil, zvětšení objemu, zvětšení pohyblivosti makromolekul.

$\alpha_{\text{min}}$  mají reaktoplasty (v závislosti na hustotě zesíťování), termoplasty pod  $T_g$  mají  $\alpha$  poloviční než nad  $T_g$ , u semikrystalických termoplastů mezi  $T_g$  a  $T_m$  je  $\alpha$  nepřímo úměrná stupni krystalinity, plasty s vyšším  $E$  mají menší  $\alpha$ , plasty bez plniv mají o řád větší  $\alpha$  než kovy, s plnivý skleněná vlákna, skleněná moučka, grafit,  $\alpha$  klesá, orientace makromolekul je příčinou anizotropie teplotní roztažnosti, ve směru orientace je větší

**Tepelná vodivost** - schopnost přenášet tepelný pohyb z jedné částice na druhou, závisí na mezimolekulárních silách.

Oproti oceli 100x a mědi 1000x menší, kvůli tomu dlouhá doba zpracování, dlouhý technologický cyklus.

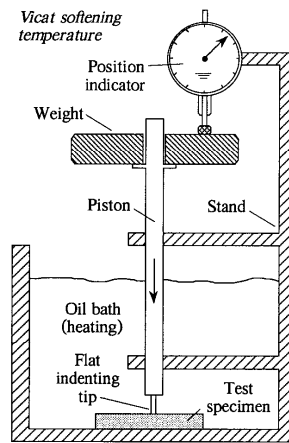
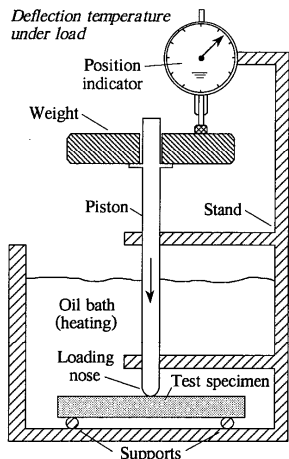
## **Měrná tepelná kapacita**

5x větší než u kovů, s teplotou roste.

# Tepelné vlastnosti

- Teplotní rozsah použitelnosti
- Teplotní roztažnost
- Tepelná vodivost
- Měrná tepelná kapacita plastů

Plast	Krátkodobá teplotní mez [°C]	Dlouhodobá teplotní mez [°C]	Teplota křehnutí [°C]	Tvarová stálost dle ISO R75/A [°C]
PE-LD	90	70	-60	
PE-HD	95	75	-60	30 - 45
PP	130 - 140	95 - 100	-10	60 - 70
PP/SV	120	95	-10	120
PS	60 - 90	55 - 80		70 - 80
PS-HI	65 - 90	55 - 70	-60	70 - 80
SAN	90 - 95	85 - 90		80
ABS	80 - 105	75 - 90	-30	85 - 110
PVC-U	70 - 80	55 - 70	-5	75
PCTFE	170	150	-200	
FEP	220	205	-100	
PMMA	105	65 - 75		110
PA 6	120 - 150	80 - 100	-20 až 0	75
PA 6/SV	170 - 200	80 - 120	-20 až 0	190
PA 66	140 - 160	80 - 100	-20 až 0	70
PA 66/SV	220 - 250	90 - 120	-20 až 0	180
PA 11	110 - 140	70 - 80	-40	55
PA 11/SV	160 - 170	80 - 100		170
PA 12	110 - 140	70 - 80	-40	55
PA 12/SV	120	80		120 - 170
POM	140	85 - 100	-50	85 - 100
POM/SV	150	95 - 120	-50	160
PPO	140	90 - 110	-40	100 - 130
PPO/SV	150	120	-40	145
PC	135	100	-60	135 - 140
PC/SV	140 - 145	120	-60	145
PET	170 - 180	110	-40	85
PET/SV	180 - 190	110	-40	200
PBT	160 - 170	100 - 110	-60	70
CA	70 - 95	50 - 80	-10	50 - 80
CAB	70 - 100	50 - 90	-30	55 - 85
CP	70 - 100	50 - 90	-30	60 - 85



Testing configurations and apparatus associated with the Deflection Temperature Under Load (DTUL) and Vicat Softening Temperature tests.

# Vicat

ČSN EN ISO 306



ZAŘÍZENÍ VICAT

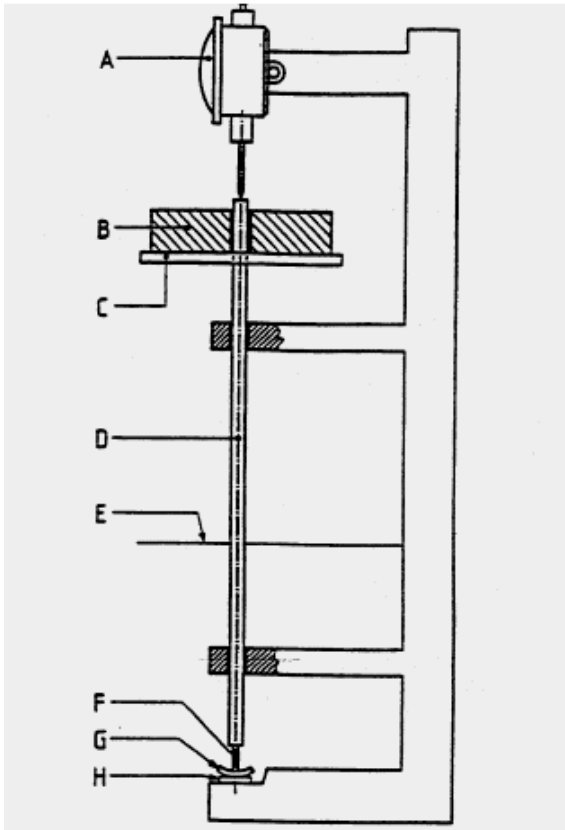


SCHÉMA ZAŘÍZENÍ

A – číselníkový úchylkoměr

B – výměnné závaží

C – zatěžovací talíř

D – soustava tyče a vlačovacího hrotu podírající zatěžovací talíř

E – přibližná hladina kapaliny

F – vlačovací hrot

G – zkušební těleso

H – zploštělá spodní výseč

lázeň: silikonový olej

rovnoměrný ohřev 50°C/hod. nebo 120°C

zkušební těleso:

10x10 mm

zatížení: 10 N (metoda A- A50,A120), 50N (metoda B-B50, B120)



# Plasty – chemické vlastnosti

Polymer	Stupeň odolnosti proti					
	vodě	roztokům solí	kyselinám	zásadám	oxidačním činidlům	rozpuštědlům
Polyolefiny	1	1	1	1	2 až 3	1 až 2
Fluoroplasty	1	1	1	1	1	1
Polyvinylchlorid	1	1	1 až 2	1 až 2	2 až 3	1 až 3
Polystyrén	1	1	1 až 2	1	2 až 3	3 KN
Polymethylmethakrylát	2	1	2	2	2 až 3	3 KN
Polyakrylonitril	1	2 až 3	2 až 3	2 až 3	2 až 3	1 až 2
Polyethyltereftalát	1	1	2	3	3	1 až 3
Polykarbonáty	1	1	2 až 3	3	3	2 až 3 KN
Polyoxymethylen	1	1	2	2	3	1 až 3
Polyamidy	2	2	3 KN	2	3	1 až 3 KN
Polyurethany	2	2	3	2	3	1 až 3
Epoxidové pryskyřice	2	2	2	2	3	1 až 3
Polyesterové pryskyřice	1 až 2	1	1 až 2	3	3	1 až 2

1 - velká

2 - střední

3 - malá

KN - sklon ke korozi za napětí

Odolnost proti kyselinám a alkáliím snižují hydroxylové, esterové, nitrilové a jiné polární skupiny na polymerním řetězci. Výjimku tvoří atomy halogenů. Fluoroplasty a polymery obsahující na hlavním řetězci atomy chloru odolávají kyselinám, alkáliím, solím a do jisté míry i oxidačním činidlům. Nejodolnějším polymerem je polytetrafluorethylén (Teflon). Uhlíkový skelet jeho řetězce je účinně chráněn silně elektronegativními atomy fluoru. Odolává prakticky všem chemickým činidlům. Pouze nejagresivnější, např. roztavený sodík a draslík, narušují povrch teflonových výrobků.

Přítomnost dvojných vazeb v řetězci polymeru (např. u polydiénů) významně snižuje jeho odolnost vůči vnějším vlivům, zejména vůči oxidaci.

Pro odolnost polymerů vůči chemickým činidlům je také důležité, jsou-li v krystalickém nebo amorfním stavu. Jako typický příklad může posloužit nepolární polyethylén mající předpoklady dobře se rozpouštět v nepolárních rozpouštědlech. Jeho krystalická struktura však zvyšuje jeho odolnost vůči nepolárním rozpouštědlům natolik, že se v nich rozpouští teprve za dostatečně vysokých teplot, např. ve vroucím tetrachlormethanu. Amorfní polyisobutylén se však v nepolárních rozpouštědlech i při běžné teplotě rozpouští dobře.

Koroze za napětí

# Plasty – hořlavost

Druh zkoušky	Výsledek zkoušky	PE-LD	PE-HD	PP	PS	ABS	SAN	PVC	EVA	PMMA	PA	PUR	PET	POM
Flotační	Plave na vodě	*	*	*										
Chování při spalování	Taví se a odkapává	*	*									*		
	Hoří plamenem	*	*	*	*			*	*	*	*	*		
	Mimo plamen zhasíná							*	*	*	*			
	Tvoří saze (čadí)				*	*	*						*	
	Jiskří								*					
Tvoří zuhelnatělé zbytky							*	*						
Barva plamene	Modrá									*				*
	Modrá s bílým vrcholem	*									*	*		
	Žlutá se zeleným okrajem							*						
	Žlutooranžová				*								*	
Purpurový okraj								*						
Pach při spalování	Vosk	*	*	*										
	Spálená rohovina										*			
	Pryskyřice												*	
	Česnek								*		*			
	Chlorovodíkový čpavý							*						
	Čpavý								*			*	*	
Nasládlý				*	*	*								
Lomová	Neláme se	*	*	*							*			
	Křehký lom				*		*			*				
	Tažný lom					*	*	*	*		*	*	*	
Vrypová	Stopa po škrábnutí nehtem	*												
Akustická	Při úhozu plechový zvuk				*									
	Při hoření praská								*		*			
	Fólie šustí		*	*										
Tažnost fólie	Malá		*										*	
	Střední			*							*			
	Velká	*						*						

Závisí na struktuře polymeru.

Hoří polymery, které se teplem depolymerují na hořlavý monomer, nebo se rozkládají na hořlavé zplodiny.

Přítomnost nehořlavých prvků jako chlor, fluor, brom, dusík, křemík zmenšuje hořlavost i zápalnost.

Nejhořlavější jsou polyolefiny a PMMA.

Retardéry hoření – halogeny (toxické), minerální plniva se rozkládají a uvolňují CO<sub>2</sub>, hydroxid hořečnatý při 340°C uvolňuje vodu (30%)

Nehořlavá plniva mají malou účinnost.