

Matrice

Inženýrský pohled

Josef Křena

Letov letecká výroba, s.r.o.

Praha 9

Termosety pro náročnější aplikace

Epoxi - použití do 121°C, v různé formě, aditiva termoplastu nebo reaktivní pryže k omezení křehkosti, vytvrzení v autoklávu, RTM a pec. Strukturální letecké díly.

Fenolická pojiva - FST vlastnosti, nízká cena, interiéry, ablativní materiály, uvolňuje vodu při vytvrzení.

Cyanate estery – použití do 149°C, podobná technologie zpracování jako epoxi ale lepší mechanické vlastnosti avšak vyšší cena, nízká absorpce vlhkosti a lepší elektrické vlastnosti. Radomy, díly pro zbraně a mikrovlnná zařízení.

Bismaleimidy a polyimidy – použití BMI do 232°C a PI do 371°C krátkodobě. Těkavé podíly a vlhkost vznikající při vytvrzování PI. BMI a PI vykazuje vyšší absorpci vlhkosti a nižší houževnatost než CE a EP.

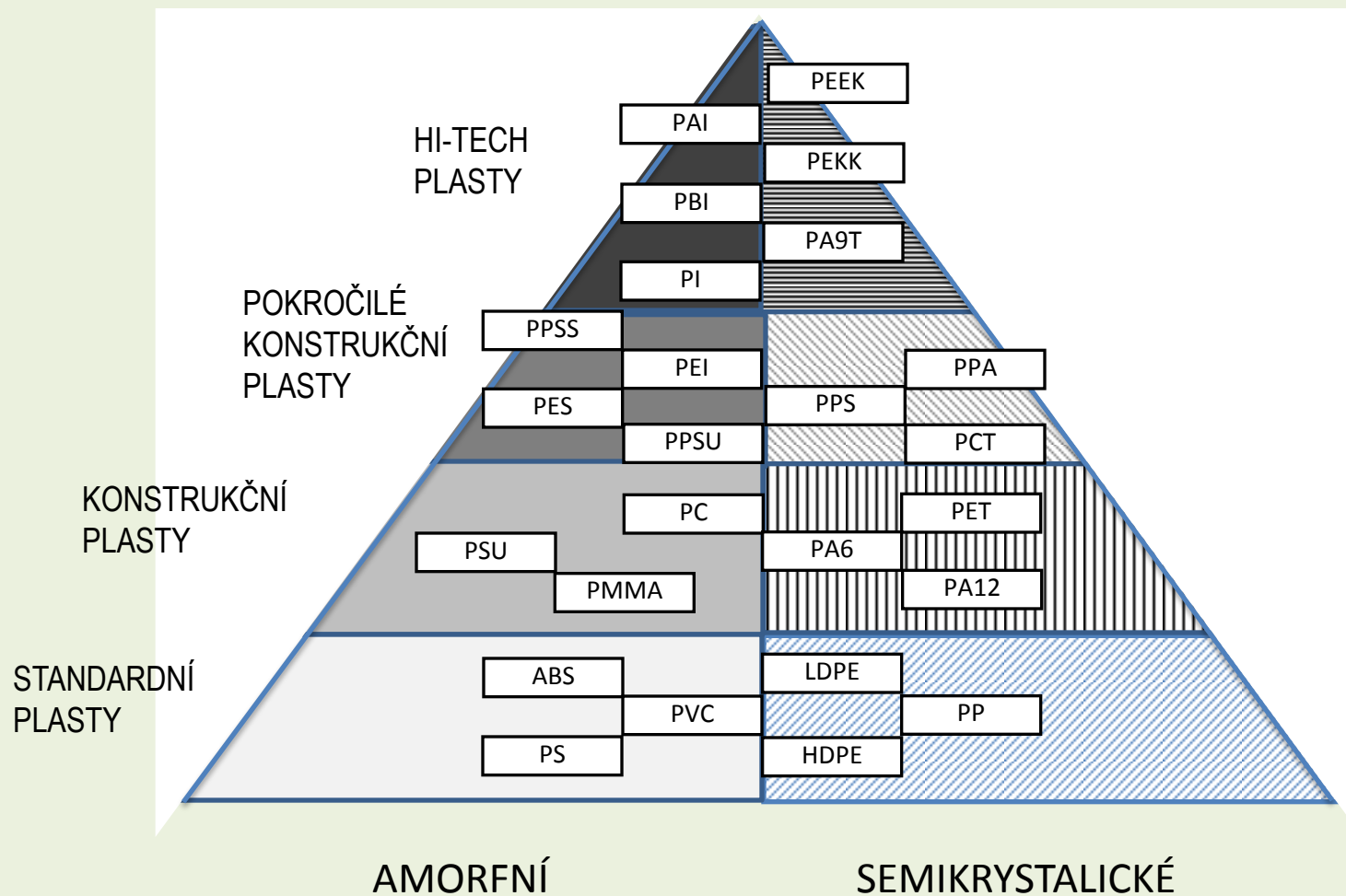
Polybutadien – dobré chemické a elektrické vlastnosti.

Benzoxazin a phtalonitrile – (varianta fenolických pryskyřic) pro vysokoteplotní aplikace.

Termosety pro náročnější aplikace

Druh pojiva	Typ pojiva	Vytvrzení	T _G
Epoxi	922-1	180°C	210°C
Epoxi	913	125°C	150°C
Epoxi	RTM6	160°C	200°C
Cyanate ester	954-3	180°C	205°C
Benzoxazin	Beta G3	180°C	251°C
Bismaleimid	M65	191°C	300°C
Polyimid	PETI-365E	až 370°C	až 365°C
Geopolymer	PyroSic	65 (150)°C	400 (1000)°C

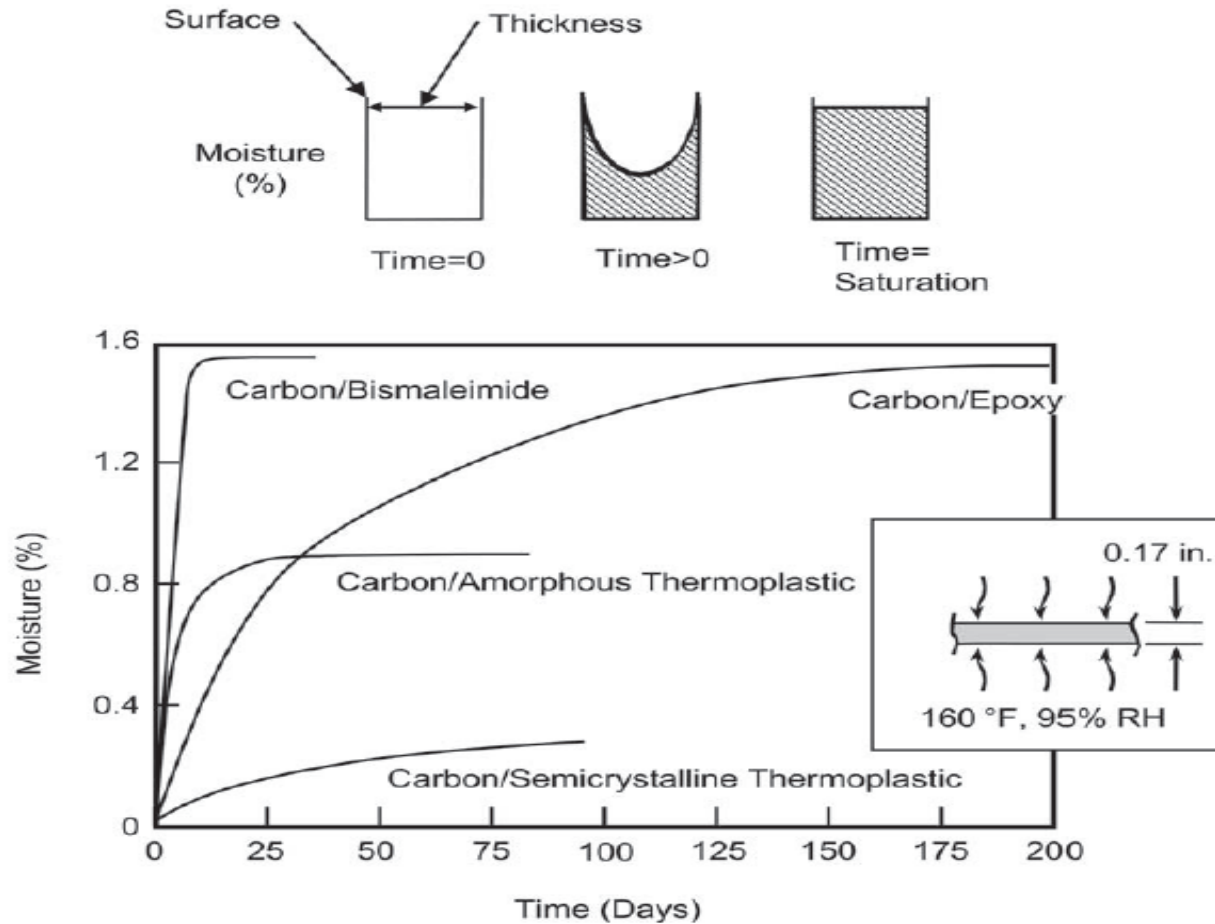
Třídění termoplastů



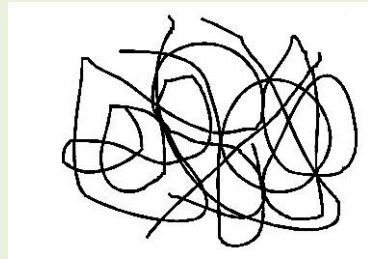
Termoplasty

Typ pojiva	Značení	Teplota skelného přechodu	Teplota tavení	Teplota zpracování	Typ morfologie
		°C	°C	°C	
Polyfenylensulfid	PPS	88	285	329-343	Semikrystalický
Polyeterimid	PEI	218	--	316-360	Amorfní
Polyetereterketon	PEEK	143	345	382-399	Semikrystalický
Polyeterketonketon	PEKK	156	310 - 343	327-360	Semikrystalický
Polyfenylensulfidsulfon	PPSS	206	--	n/a	Amorfní

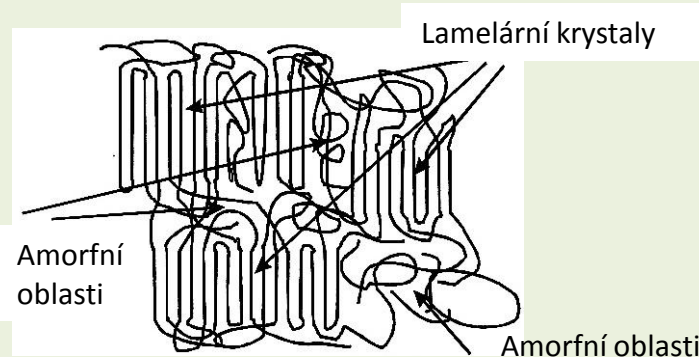
Porovnání termosetů a termoplastů v absorpci vlhkosti



Vliv struktury na vlastnosti



Plně amorfní struktura



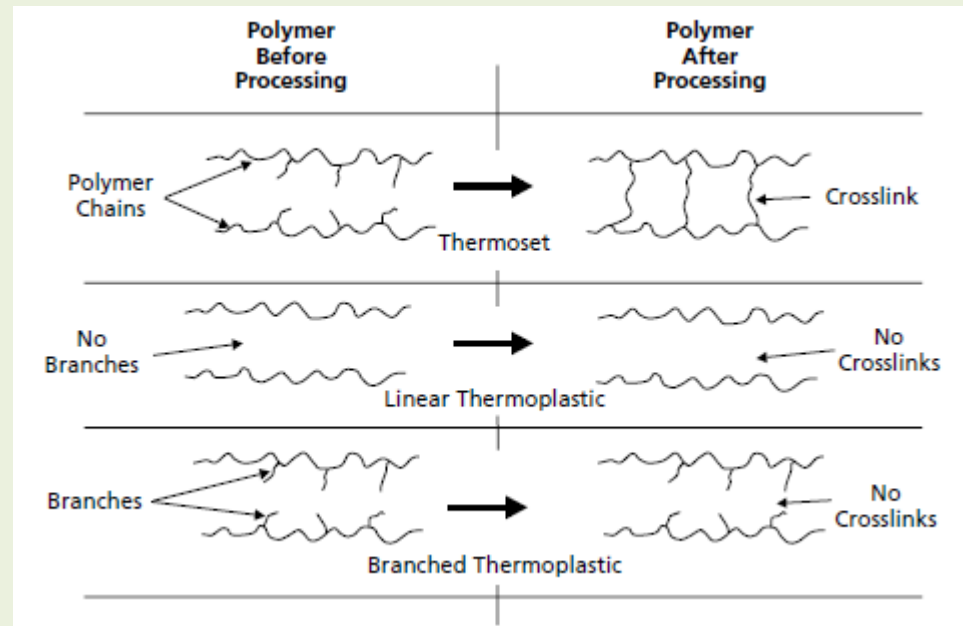
Amorfni

- transparentni
- méně chemicky odolný

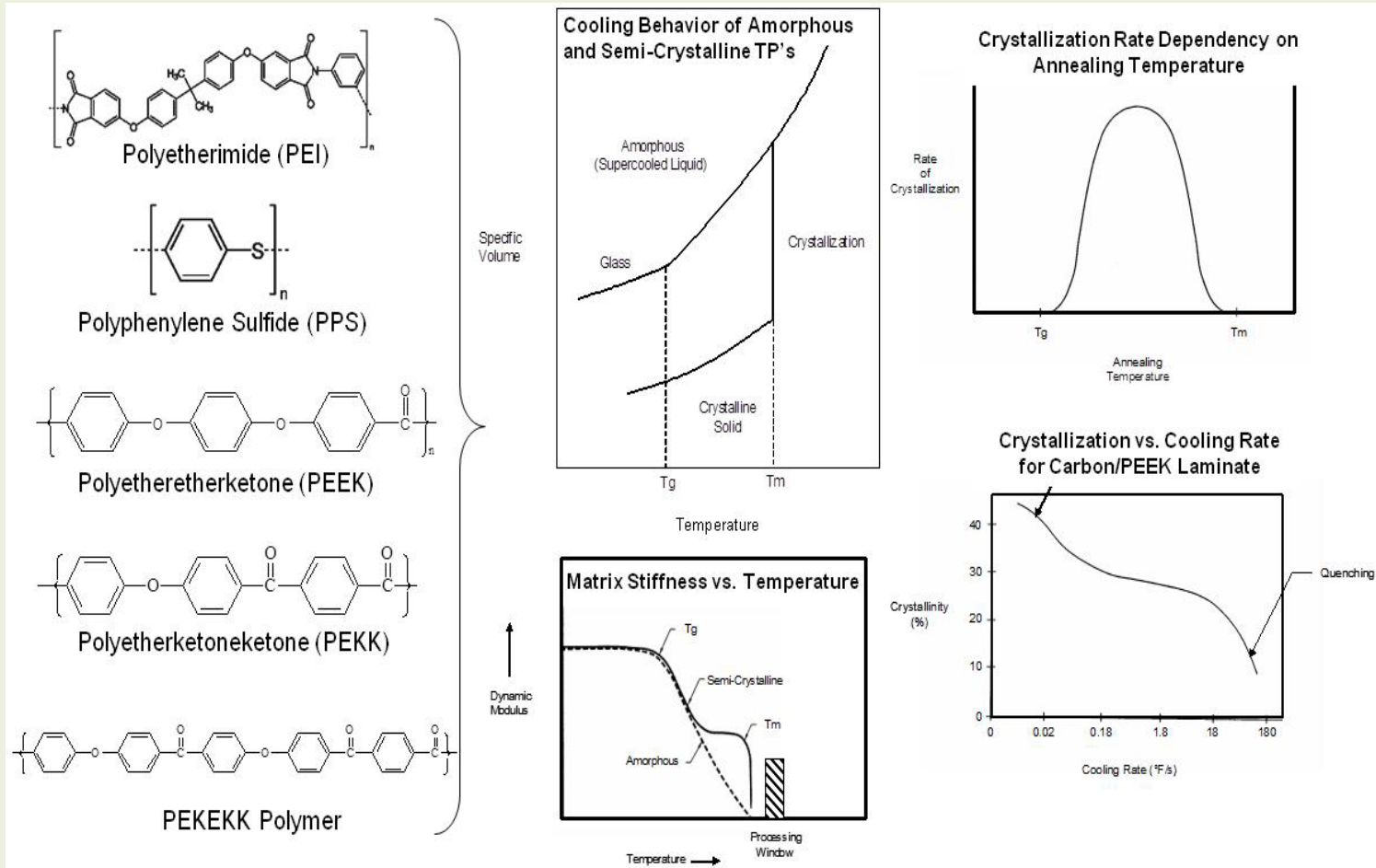
Semikrystalický

- amorfni oblasti houževnaté
- krystaly zajišřují tuhost a tvrdost

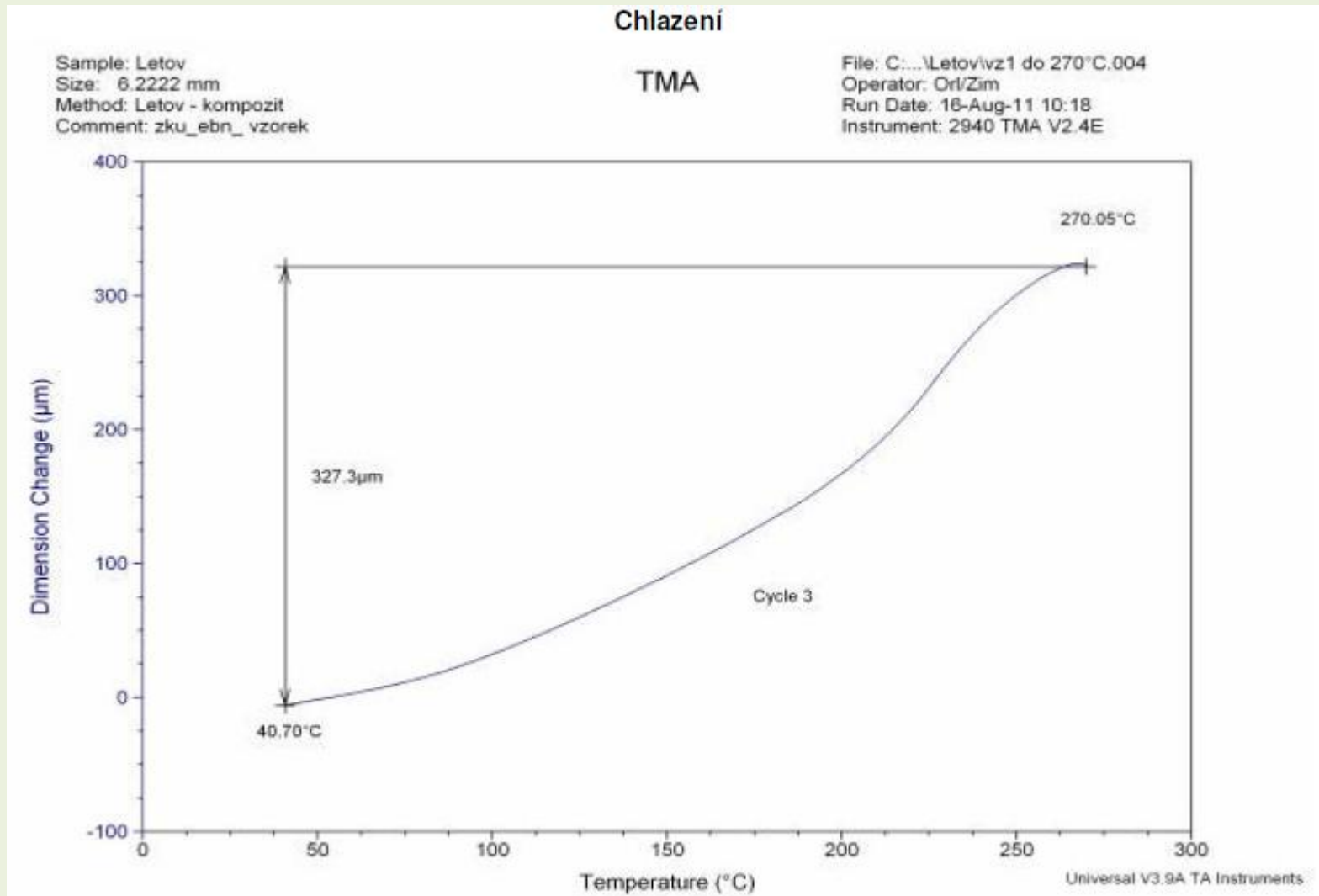
- Řetězec:**
- pravidelnost
 - boční větve



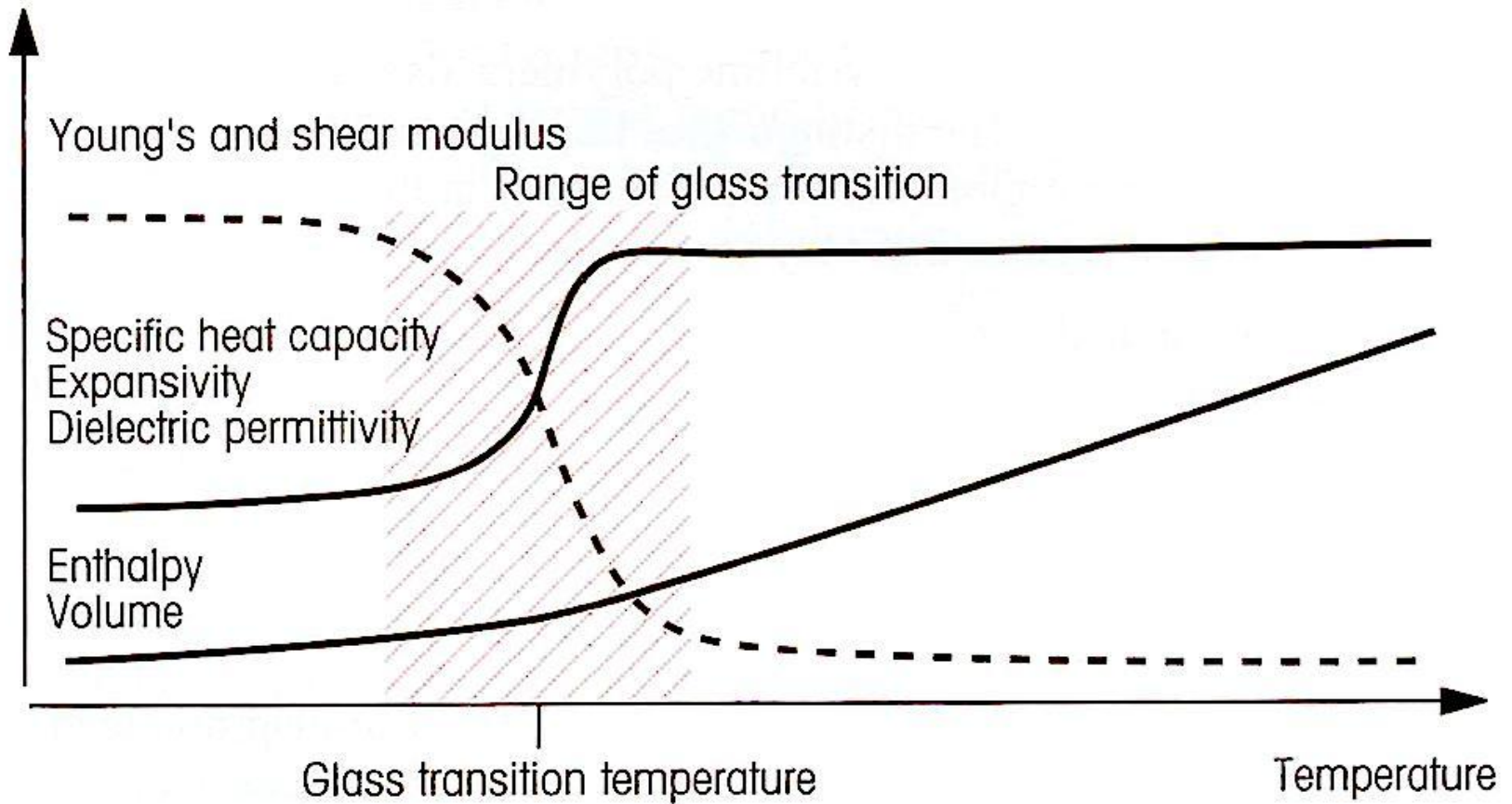
Vliv struktury na vlastnosti



Teplotní deformace ve směru - Z C-tkanina/PPS matrice



Vliv teploty a T_G na vlastnosti



Vliv teploty na vlastnosti

Při zvýšené teplotě

Krátkodobé

- moduly a pevnosti
- teplotní roztažnost a smrštění
- rozpouštění krystalů, dotvrzení

Dlouhodobé

- kríp a relaxace
- degradace a stárnutí

Při snížené teplotě

- zvýšení modulu
- snížení houževnatosti (křehnutí)
- krystalizace

Teplotní limit použití závisí na

- době vystavení nebo použití při dané teplotě
- skutečných mechanických zatíženích

Měření teplotních vlastností při vysokých teplotách

- **Teplota trvalého použití** - empiricky stanoveno podle podmínky, že díl může plnit svoji funkci dlouhodobě při dané teplotě (TP mají limit 50 ÷ 400°C).
- **Teplotní index UL** – při zkoušce dlouhodobé expozice na teplotě se vyhodnotí pokles sledovaného parametru na 50%.
- **HDT** - zatížený ohybový vzorek je sledován při lineárně rostoucí teplotě (HDT A při napětí 1,8 MPa, HDT B při napětí 0,46 MPa).
- **Teplota měknutí Vicat** – tlakově zatížený vzorek při lineárně narůstající teplotě se deformuje na stanovenou hodnotu.
- **Zrychlené stárnutí** – změny vlastností za n.t. po dlouhodobé expozici v komoře (jednotlivé vlastnosti degradují různou rychlostí, není známa přesná korelace mezi urychleným stárnutím a realitou).

Měření teplotních vlastností při nízkých teplotách

- **Bod křehnutí** - ochlazené vzorky zkoušet rázovou zkouškou
 - ochladit a zkoušet postupně při rostoucí teplotě
 - navíjení folie na trn při různých teplotách
- **Krutová tuhost** - měření závislosti modulu na klesající teplotě
- **Krystalinita** - měření změny krystalinity na základě změny tvrdosti
 - měření pomocí DSC

Měření dlouhodobých vlastností

- **Kríp** – konstantní zatížení při dané teplotě, vyhodnocuje se krípový modul a krípová pevnost.
- **Relaxace** – fixní deformace při dané teplotě, sleduje se závislost napětí na čase. Vyhodnocuje se poměrné napětí (σ_0/σ_t).
- **Chemická odolnost** – (immerze nebo kontakt) absorpce vede k bobtnání, vymývání komponent (změkčovadel, antidegradantů, barviv) mění vlastnosti.

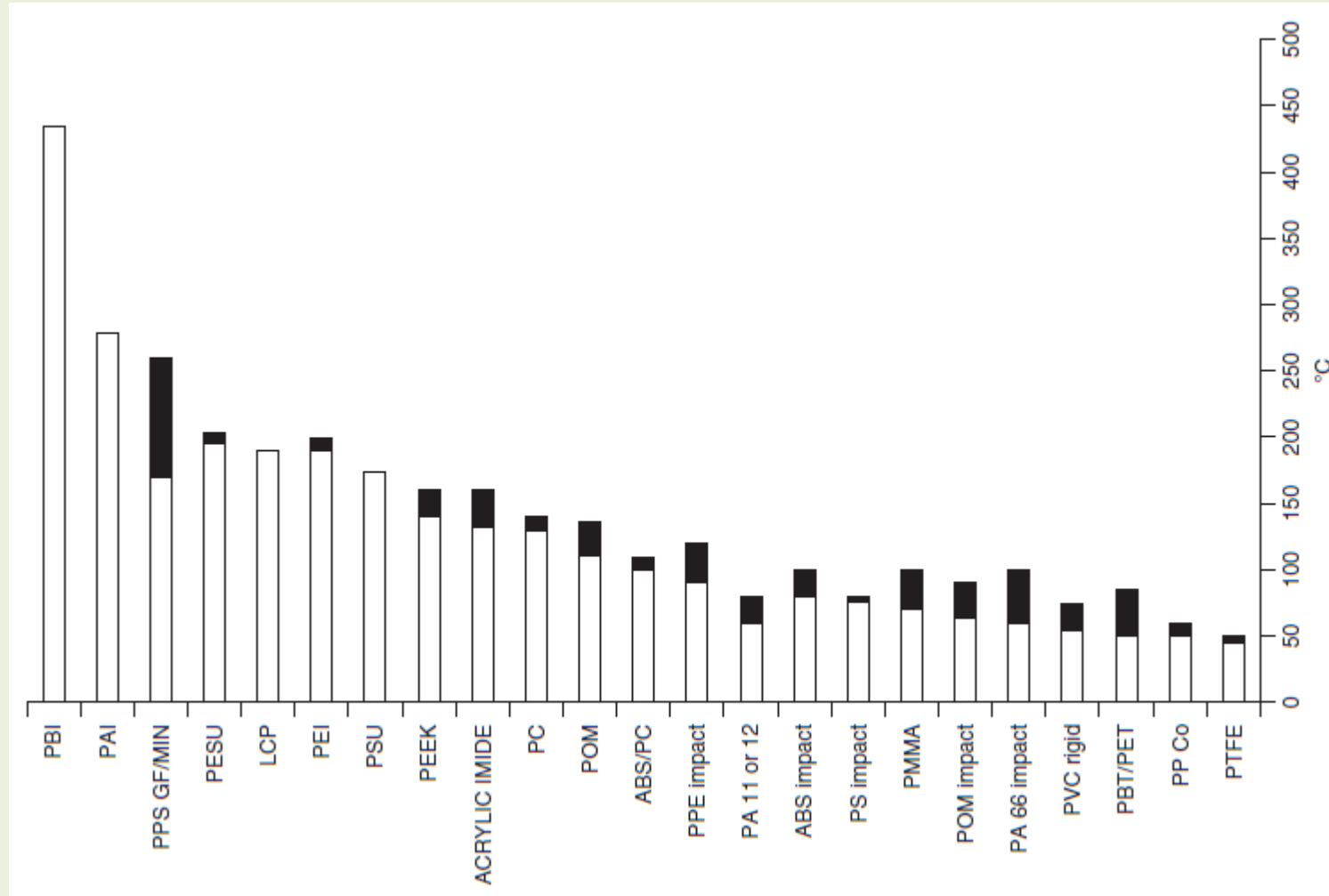
Test:

Hodnocení změny objemu, hmotnosti, rozměru.

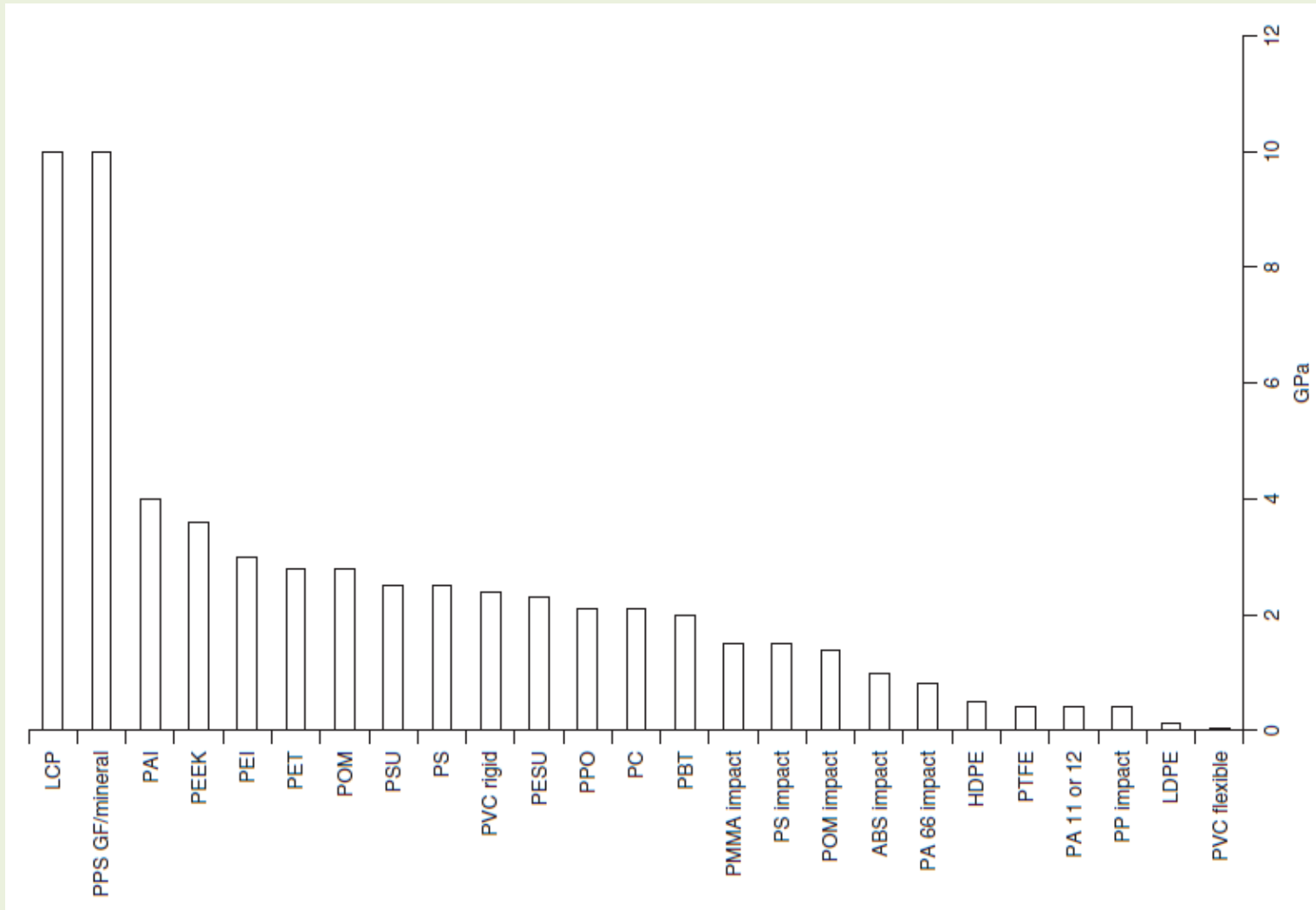
Hodnocení změny mechanických vlastností okamžitých a po usušení.

- **Lom vlivem prostředí** – měření lomu při zatížení pod mezí kluzu za dlouhý čas. V chemickém prostředí dochází k lomu dramaticky dříve.

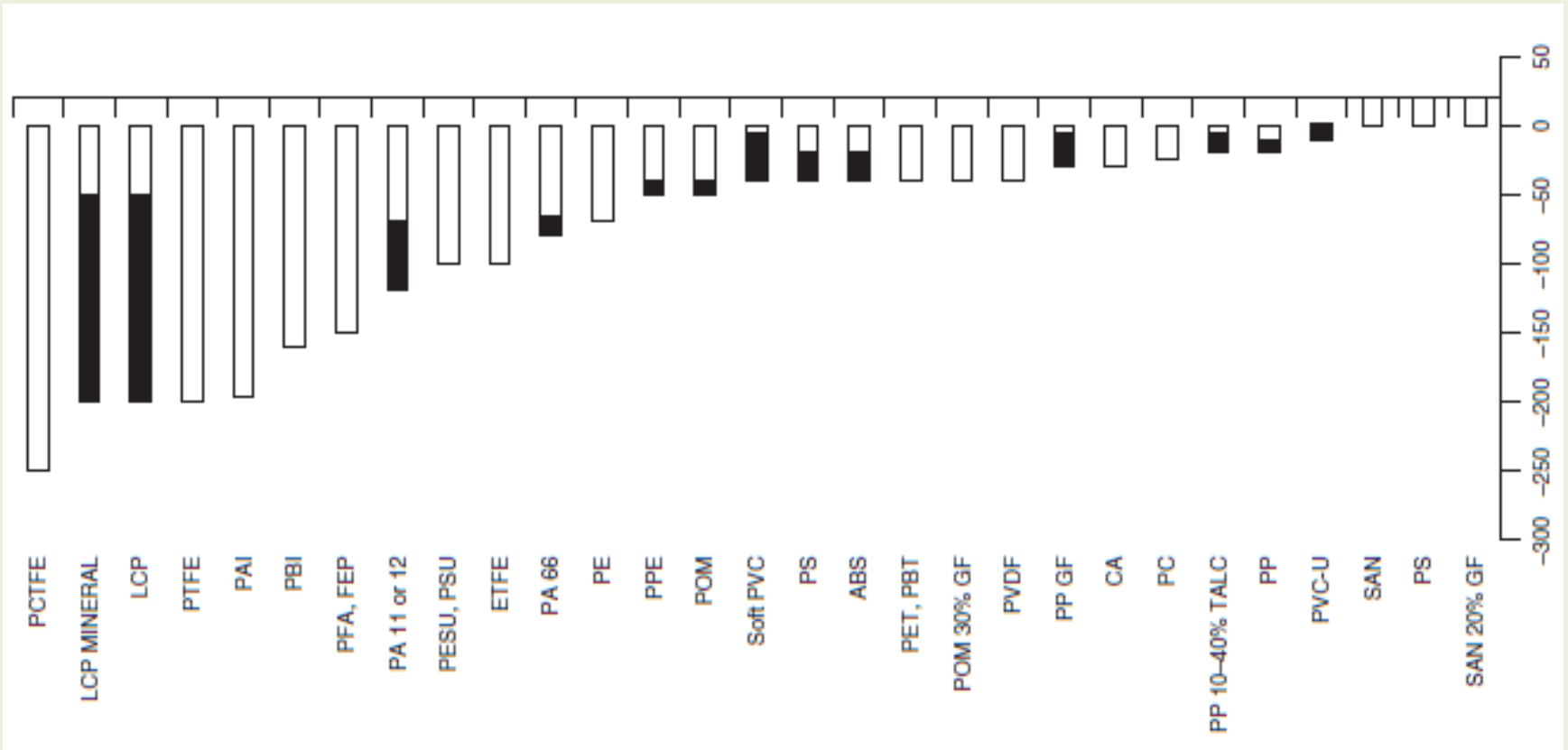
Heat deflection temperature **HDT A** (1,8 MPa)



Modul pružnosti v tahu



Limit pro použití za nízkých teplot



Děkuji za pozornost