

Kriteria spolehlivosti provedení syntetických bezespárých podlahovin

R.A. Bareš

Obecně

Pryskyřičné povrchové úpravy (ať ve formě plastbetonů, stěrek nebo licích podlahovin) horizontálních povrchů ve stavebnictví vyžadují některé speciální vlastnosti pojiv, mají-li vykázat dlouhou životnost zejména v extrémních podmínkách (např. v exteriéru). Mezi jiným je třeba, mají-li tyto systémy splnit požadavky, kladené na velkoplošné povrchové aplikace, znát a posoudit jejich deformační a reologické vlastnosti. Výrobce obvykle sleduje a ve svých prospektech uvádí takové vlastnosti, které pryskyřičný systém charakterizují z chemického hlediska (mol. hmotnost, hustota, viskozita, tvarová stálost, obsah netěkavých složek, u epoxidů počet epoxidových skupin, obsah chloru atd.) nebo reakční kinetiky (želatinační doba, nejvyšší exothermní teplota atd.), zřídka udává, obvykle bez bližších specifikací (popisu zkoušek, stáří v době zkoušky, režimu vytvrzování), některé mechanické vlastnosti (pevnost v tahu, ohybu, rázu, tlaku). Někdy doplňuje výrobce popis elektrickými vlastnostmi, chemickými vlastnostmi apod.

Rada z uváděných informací je pro aplikátora užitečná nebo nezbytná, většinou však mu neříká nic právě o těch vlastnostech, které jsou pro předpověď dlouhodobého chování pryskyřičného systému v konstrukci (včetně synergického působení jednotlivých vlivů) nezbytné. Jde přitom nejen o přetvárné a reologické vlastnosti samotného pojiva, ale především o vlastnosti celé kompozitní soustavy (třeba i s minoritním zastoupením pryskyřice ve formě mikrovrstev mezi zrny plniva) a v interakci se sousedními materiály (zejména podkladu) a okolím.

Teoretický základ

Pojivo (pryskyřice) podlahovinového systému je třeba hodnotit jednak z hlediska kinetiky vzniku tuhého polymeru samotného (jako charakteristiky materiálu), jednak z hlediska kinetiky vzniku podlahového systému a dlouhodobé spolupráce pojiva s podkladem a plnivem (jako charakteristiky systému).

Každou polymeraci monomeru provází exotherm (vývoj reakčního tepla) a zmenšování objemu, tzv. polymerační smrštění. Toto smrštění vyvolává v pryskyřici od okamžiku omezení jejího volného pohybu (zgelováním) nevítanou vnitřní napjatost. Výhodné jsou proto takové pryskyřice, u kterých větší část polymeračního smrštění se odbude do doby zgelování např. tím, že dochází při polymeraci přednostně k tvorbě lineárních řetězců (ohybných a umožňujících bez velkého úsilí vzájemný mikropřesuv) a teprve v poslední fázi tvrdnutí k příčnému zesílení. Další podmínkou však je, aby vytvrzení proběhlo v reálně krátkém čase v normálních podmínkách prostředí (tedy bez zvýšené teploty) do maximálního stupně konverze.

Obrázek 1 ukazuje některé možné průběhy polymeračního smrštění ε_ω a nárůstu pevnosti σ_{lim} v čase. Optimální složení je takové, kdy $\frac{\partial \varepsilon_\omega}{\partial t} > \frac{\partial \sigma_{lim}}{\partial t}$ (křivky a);

vnitřní napjatost σ_ω v takovém případě je minimální. V případě, že $\frac{\partial \sigma_{lim}}{\partial t} > \frac{\partial \varepsilon_\omega}{\partial t}$ (křivka

b) dochází rychle k značné vnitřní napjatosti, jež může přestoupit i momentální pevnost a způsobit vznik mikroporuch. Při pomalém nárůstu pevnosti i smrštění (křivka c) jsou vnitřní napětí zpočátku zdánlivě malá, rostou však po dlouhou dobu a k poruchám může dojít i až např. po letech.

V kompozitním systému brání volnému smrštění pryskyřice kromě vlastní strukturní kostry plnivo a podklad, na němž je systém uložen (a s nímž dobré spojení podmiňuje úspěšnost aplikace). Namáhání σ_ω , která vznikají od polymeračního smrštění v systému jsou dlouhodobá a nezbytně jsou závislá na reologických vlastnostech polymeru. Jde při tom jak o napětí v systému samém, které je závislé na jeho relaxačním modulu $E_{r(t)}$, tak o napětí v kontaktní spáře (zejména mezi podlahovinou a podkladem), které je závislé na jejím relaxačním modulu ve smyku $G_{r(t)}$. Protože ovšem i pevnosti v čase v důsledku ještě probíhající polymerace rostou, jsou oba relaxační moduly funkcí okamžité pevnosti $\sigma_{lim(t)}$, resp. $\tau_{lim(t)}$. Vedle poklesu napětí v systému vlivem relaxace je třeba uvážit i skutečnost, že trvalá pevnost i vytvrzené pryskyřice $\sigma_{lim(t)}$ se v závislosti na velikosti namáhání σ s časem t snižuje.

V systému vznikne tedy zabráněním smrštění a s uvážením relaxace napětí podle obr. 2 napětí

$$\sigma_\omega = F(t, \varepsilon_\omega, E_{r(t)}),$$

které v žádném čase nesmí dosáhnout hodnoty trvalé pevnosti pro toto napětí, tj.

$$\sigma_\omega < \sigma_{lim} = F(t, \sigma);$$

totéž platí i ve vztahu τ_ω a τ_{lim} .

Další okolností, která má rozhodující význam pro trvanlivost systému, je jeho odezva na změny teploty. Nepříznivý je zejména pokles teploty, který vyvoluje podle rozdílu součinitelů tepl. roztažnosti $\Delta\alpha$ podlahoviny α_p a podkladu α_b v systému napětí σ_T stejného znaménka jako polymerační smrštění (tahová v podlahovině). Kromě toho reologické vlastnosti materiálů se s poklesem teploty zhoršují, roste relaxační modul $E_{r(t)}$, klesá houževnatost, příp. pevnost a mezní přetvoření a tím vzrůstá i napjatost od polymeračního smrštění. Nevhodná kombinace velkého součinitele teplotní roztažnosti podlahoviny, vysoké rodové teploty T_0 (teploty při níž probíhala polymerace) a nadměrného zvýšení relaxačního modulu snížením teploty může vyvolat taková napětí v systému, že spolu s napětími od smrštění může být překročena pevnost podlahoviny nebo styku s podkladem. Pro vnitřní napětí v systému tedy platí

$$\sigma_{in} = W(t, T, \varepsilon_\omega, E_{r(t, T)}, \Delta\alpha, T_0) < \sigma_{lim} = G(t, \sigma, T).$$

Obecné stanovení charakteristik daného systému a posouzení, zda vyhovuje danému kriteriu je pro složité (obvykle logaritmické nebo exponenciální) závislosti neobvykle obtížné a k experimentálnímu ověření je třeba hledat vhodné kumulační funkce.

Experimentální metody

Jednou z cest, jak experimentálně ověřit chování systému, je sledovat vedle „volného“ smrštění (smrštění, kterému není až na vlastní strukturu polymeru ničím bráněno) a „volných“ teplotních dilatací (objemových změn vlivem změn teploty, probíhající bez vnějších zábran) především tzv. „zbytkové“ smrštění a „zbytkové“ teplotní dilatace, nebo ještě lépe (příp. současně) přímo napětí, která v systému v důsledku zábrany těchto rozměrových změn vznikají. Tento postup lze realizovat zatím v jedinečném zařízení, v Rheometru RGM-3 společnosti COMING, jehož popis a příslušné metodiky uvede autor přístroje Ing. František Fára, CSc. [1]

Dosavadní měření na Rheometru poskytlo zatím údaje o vnitřním napětí od smrštění a změn teploty (po relaxaci 60 min.) pro 42 různých epoxidových a polyesterových systémů podle tab. 1 [2].

Výsledky jsou shrnuty v tab. 1

Hodnota	vytvrzování 20°C (30 dnů)	dotvrzení 85°C (48 hod.)
napětí od smrštění MPa	0,010-0,691	0,130-3,627
napětí od smrštění spolu s napětím od snížení teploty o 40°C MPa	1,968-6,180	2,738-8,015
volné smrštění %	0,130-0,713	0,226-1,682
krátkodobá tahová pevnost MPa	2,6-59,0	3,4-62,0
mezní přetvoření	$3,4 \cdot 10^{-3}$ - $630 \cdot 10^{-3}$	$5,9 \cdot 10^{-3}$ - $570 \cdot 10^{-3}$
modul pružnosti Youngův MPa	50-3400	200-4200
creepový modul MPa	5-3400	12 - 3200
relaxační modul MPa	5-3900	10 - 2900
součinitel délkové teplotní roztažnosti $10^6 K^{-1}$	56 - 124	

Pracovní diagramy se v jednotlivých systémech značně lišily, jak ukazuje obr. .

Ze zkoumaných 42 systémů vyhovuje z přetvárných a reologických hledisek pro vytváření povrchů (ve formě samorozlévacích povrchů, stěrek a plastbetonů jen málokterý. Napětí vznikající v površích dosahují často hodnot, které se blíží pevnosti v tahu a napětí ve stýkové spáře s podkladem mnohdy přestupuje (minimálně na okraji, u ukončení podlahoviny), za extrémních podmínek pevnost styku systému, které vyhoví z hlediska vnitřních napětí, mají někdy nedostatečnou tvrdost a pevnost v tlaku a jejich průvodním zjevem je velmi podstatné snížení lomové energie při rázovém zatížení.

Výsledek uvedeného rozsáhlého experimentu ukazuje na to, že dosud ne všechny nabízená pojiva a podlahovinové systémy jsou dokonalé a že velká pozornost aplikátorů by měla být věnována vlastnostem souvisejícím s polymeračním smrštěním a změnami teploty a selektivnímu výběru nabízených druhů s ohledem na popsané hledisko. Je ovšem přirozené, že vlastnosti podlahovin (samonivelačních stěrek i polymermalt či polymerbetonu) budou značně odlišné od vlastností pojiv (polymerů a některé nepříznivé vlastnosti pojiv budou potlačeny (např. malá tvrdost a tlaková pevnost); na druhé straně význam některých vlastností se v kompozitu zvýší (lomová energie, součinitel teplotní roztažnosti, smrštění), neboť i jeho přetvárné a reologické vlastnosti jsou značně odlišné od samotné pryskyřice a přistupují navíc rozmanité vnitřní koncentrace napětí, plynoucí z nehomogenity systému.

Texty k obrázkům:

Obr. 1 – Nárůst pevnosti a polymeračního smrštění v čase a průběh vnitřních napětí od smrštění

Obr. 2

– Zabráněním smrštění (a) dojde k vnitřní napjatosti systému (c) podle relaxačního modulu (b). Pokud poměrné napětí (e) od smrštění nedosáhne křivky trvalé pevnosti (jež roste s časem v důsledku polymerace – d a klesá v čase v důsledku trvalého namáhání – e), nedojde k poruchám (křivka A). Pokud poměrné napětí (e) od smrštění protne křivku trvalé pevnosti dojde k porušování (křivka B v čase t_2 , křivka C v čase t_1).

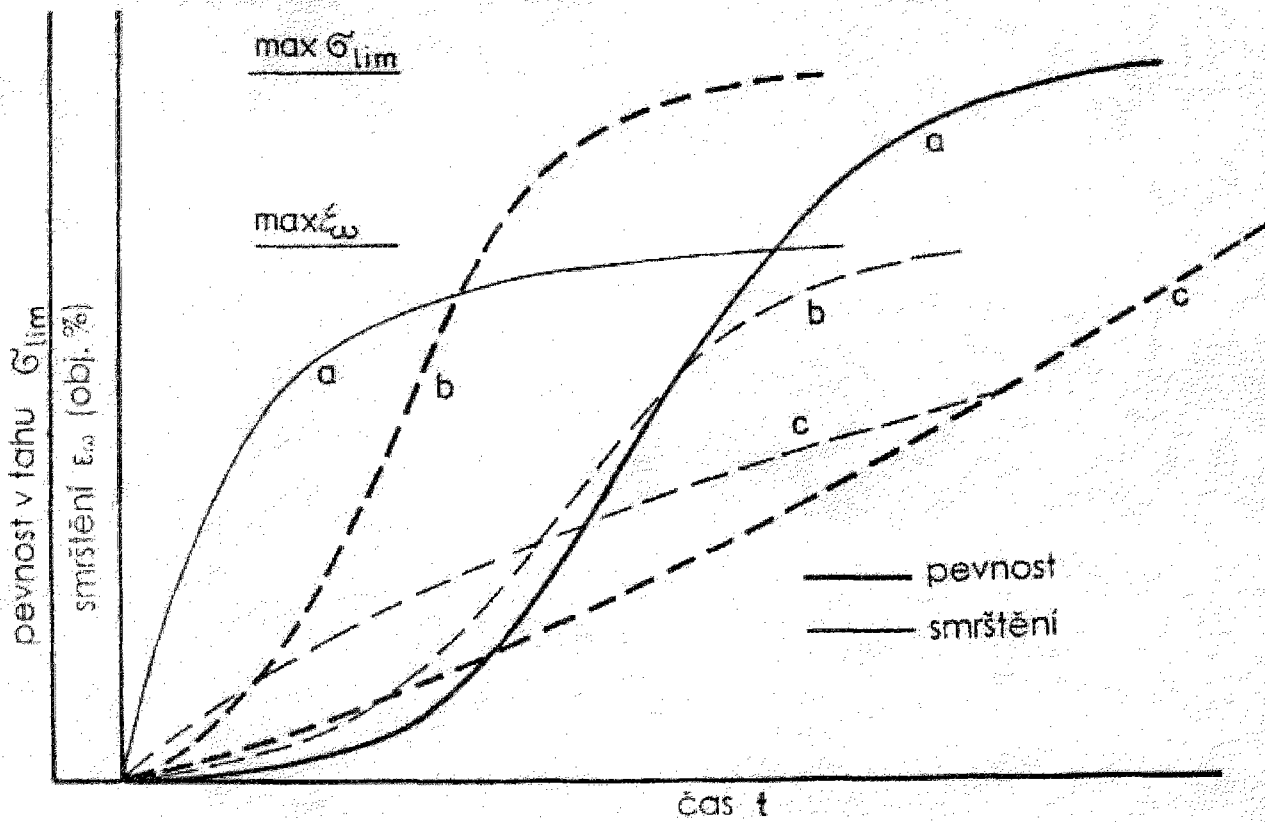
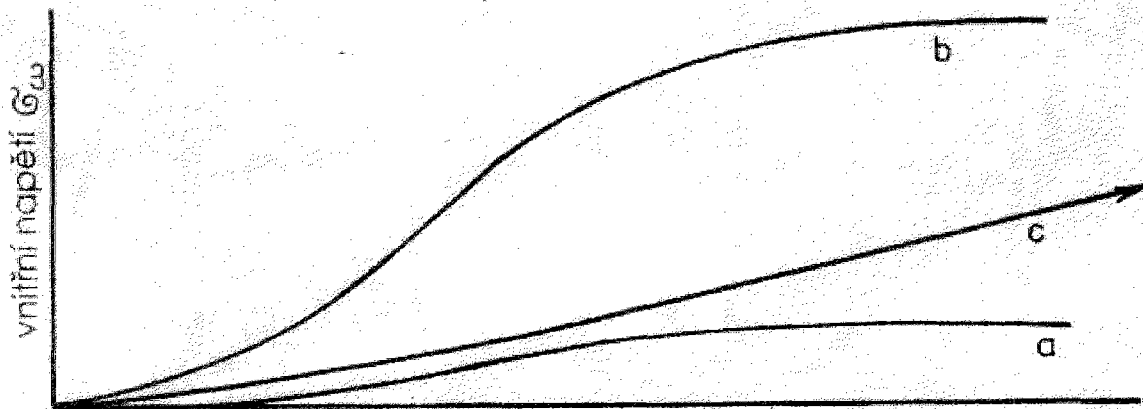
Obr. 3 – Tvary pracovních diagramů různých epoxidových, příp. polyesterových systémů

Literatura:

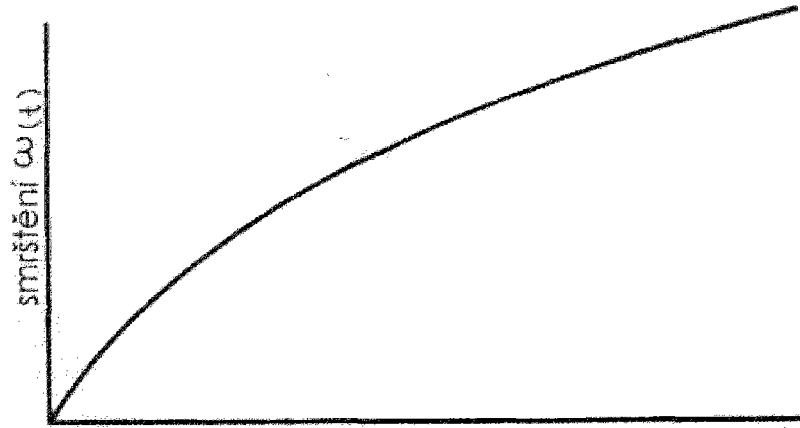
[1] F. Fára, CS Patent č. AO 19310

[2] F. Fára, R. A. Bareš

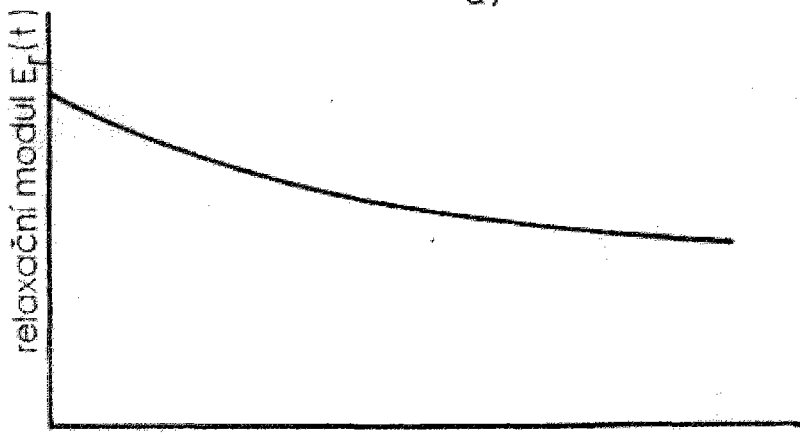
Evaluation of Performance of Industrial Floors According to their Shrinkage and Temperature Stresses, Int. Colloquium Industrial Floors, Esslingen 1987



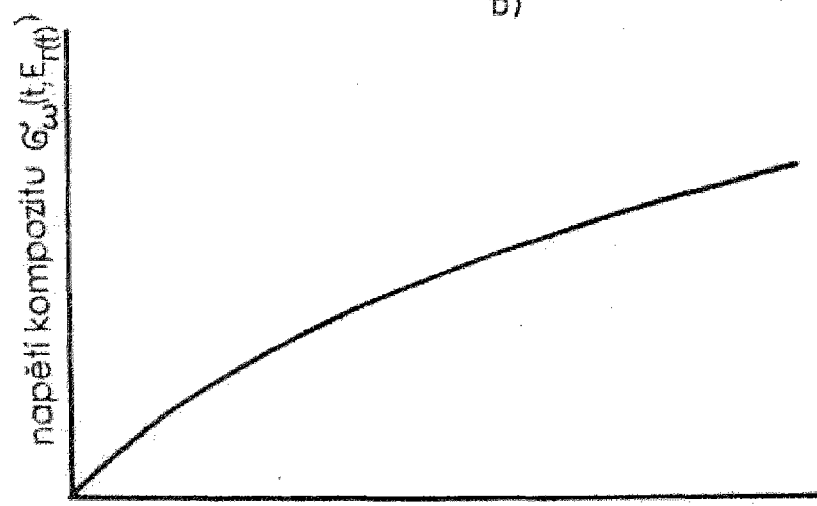
obr. 1



a)



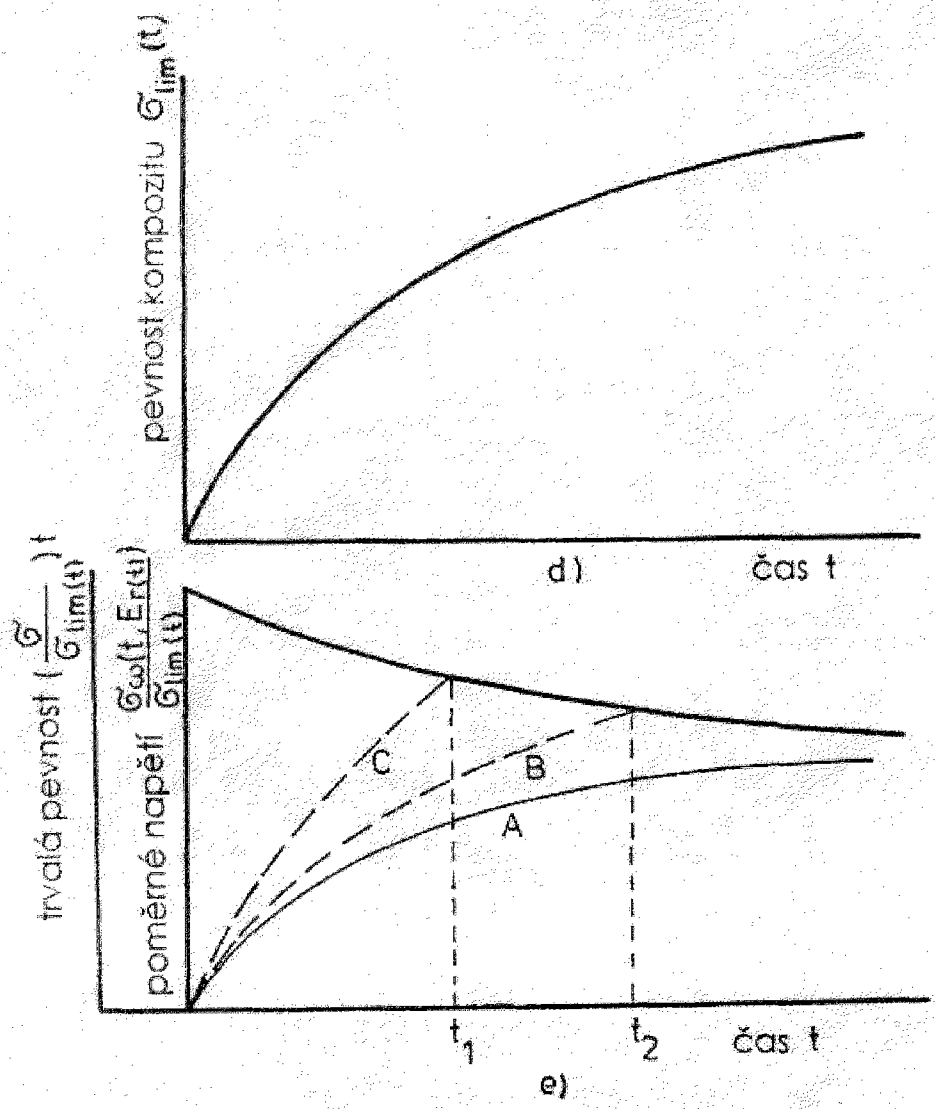
b)



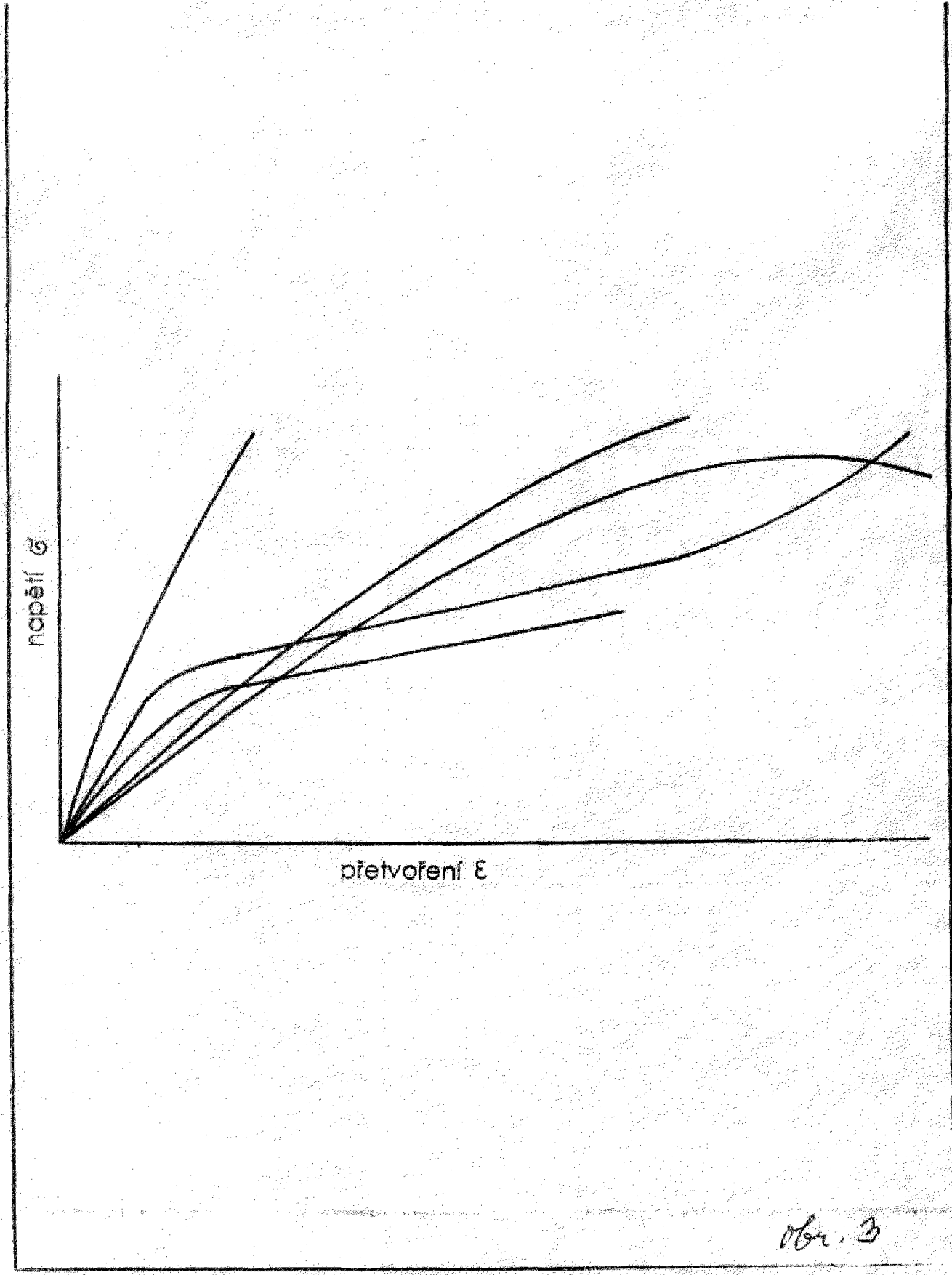
c)

čas t

Okres 2/11



— trvalá pevnost
 - - - poměrné napětí od smršťování



obr. 3