

VLIV REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ BETONU NA VZNIK PORUCH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

1. ÚVOD

Příspěvek svým tématem navazuje a rozšiřuje článek Reologické vlivy vzniku poruch stavebních konstrukcí uveřejněný v časopisu Soudní inženýrství 2/2005. V tomto článku byl představen historický vývoj vědního oboru reologie a byly v něm uvedeny a popsány reologické vlastnosti základních stavebních materiálů, tj. zemin, betonu a kovů, včetně praktických ukázek vlivu reologických vlastností zemin na vznik poruch stavebních konstrukcí. Tyto vlivy byly dokumentovány na třech případech poruch obytných domů.

Cílem tohoto příspěvku je blíže popsat reologické vlastnosti betonu včetně praktických ukázek jejich vlivu na vznik poruch stavebních konstrukcí.

2. REOLOGICKÉ VLASTNOSTI BETONU

Reologické vlastnosti značně ovlivňují chování betonových konstrukcí. Jedná se o vlastnosti materiálu, které souvisí s mikrostrukturou betonu, s chováním jeho částic a složek a jsou ovlivněny celou řadou faktorů.

Základní složkou cementového tmelu, který spojuje jednotlivé části kameniva, je cementový gel, který je charakterizován jako koloidní hmota, která v různých formách obsahuje vodu, jednak vodu chemicky vázanou, tj. vodu krystalovou, jednak vodu koloidní v jeho pórech a vodu volnou v kapilárách a makropórech.

V důsledku dlouhodobého napětí betonu se zvyšuje tlak vody v mikropórech gelu, která je tak vytlačována do kapilár a pórů, odkud se vypařuje. Tento jev se označuje jako *dotvarování*. Současně však vzniká v kapilárách podtlak, který dále vysává vodu z cementového gelu, což způsobuje další dotvarování. Množství vytlačované vody závisí na napětí betonu, zatímco velikost odpařování závisí na hygrometrických podmínkách. Mezi další faktory, na kterých je dotvarování závislé je možné zařadit: druh cementu, druh kameniva, teplotu, vlhkost, stáří betonu, ošetřování čerstvého betonu a druh namáhání.

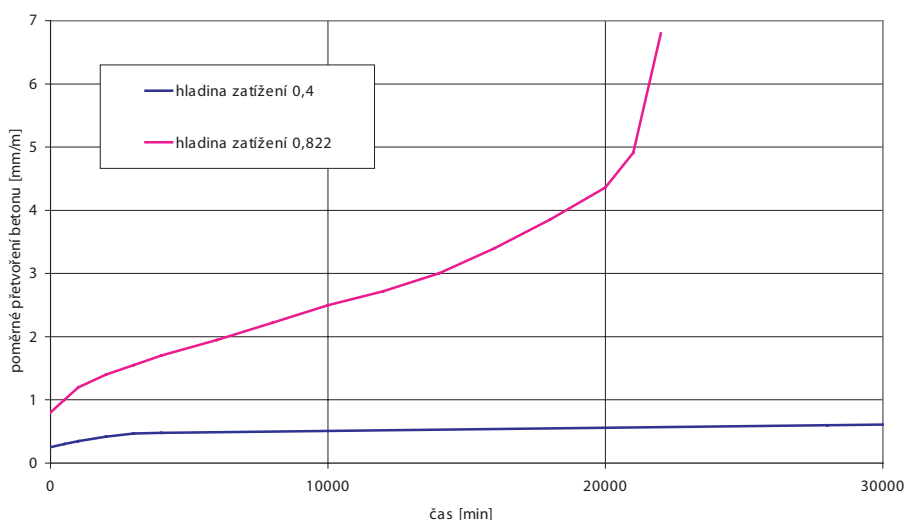
Zmenšování objemu betonu, ke kterému dochází bez napětí odpařováním chemicky nevázané vody se nazývá *smršťování*. Jeho opakem je *nabývání*, při kterém se objem betonu zvětšuje přijímáním vody z okolního prostředí.

3. UKÁZKY VLIVU REOLOGICKÝCH VLASTNOSTÍ BETONU NA VZNIK PORUCH STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

3.1. Dotvarování

3.1.1. Vliv hladiny dlouhodobě působícího zatížení

Významným faktorem ovlivňujícím průběh dotvarování je hladina dlouhodobě působícího zatížení, tj. poměr tlakového napětí vyvozeného tímto zatížením k pevnosti betonu.



Obr. 1 Vliv hladiny zatížení na časový průběh dotvarování podle zkoušek Grassera E. a Kraemera U. [3].

V minulosti i současnosti byly prováděny četné zkoušky, při kterých se sleduje závislost hladiny zatížení a rychlosti poměrných deformací v závislosti na čase. Zkoušky ukazují, že v žádné oblasti zcela neplatí lineární závislost mezi napětím a dotvarováním. Jestliže však poměr tlakového napětí vztažený k hranolové pevnosti betonu dosahuje nejvýše hodnoty 0,4 až 0,5, lze při výpočtu dotvarování zjednodušeně uvažovat lineární závislost mezi napětím a dotvarováním. Naopak, jak potvrzují zkoušky vzorků v jednoosém tlaku, které provedli Grasser E. a Kraemer U. [3], při hladině zatížení vyšší než 0,8 se prudce rychlost poměrných deformací zvyšuje, jak je zřejmé z obr. 1.

Uvedené poznatky, které jsou graficky znázorněny na obr. 1, se mohou jevit jako neužitečná teorie. V některých případech je však opak pravdou, což je dokumentováno na konkrétním případě průhybu stropní konstrukce v základní škole v Břeclavi-Poštovné, jejíž stáří bylo přibližně 90 let.

Při místním šetření bylo zjištěno, podotýkáme již pouhým pohledem, že podlaha učebny nad stropní konstrukcí je značně prohnutá, a u každého účastníka místního šetření vznikla pochybnost o spolehlivosti stropní konstrukce. Světlé rozpětí stropní konstrukce bylo 6,8 m. Stropní konstrukci tvořila železobetonová jednosměrně vyztužená deska tl. 170 mm, která byla zhotovena z betonu, který svými mechanickými charakteristikami odpovídal betonu B20. Beton byl vyroben z portlandského cementu a nacházel se v prvním stupni karbonatace. Změřený průhyb stropní konstrukce činil až 120 mm, tj. 1/57 světlého rozpětí, a na horním povrchu podlahy vzhledem ke stlačení násypu dokonce 140 mm.

K popisu celé situace učebny, z hlediska umožnění jejího využívání, je nutno doplnit, že u stěny od vstupních dveří směrem k tabuli byl na podlaze přilepen pruh koberce. Na základě dotazu k účelu tohoto koberce bylo účastníkům místního šetření ředitelem školy vysvětleno, že toto opatření je nutné, protože učitelky, zejména, když byly obuté do střevíčků s vysokými podpatky, několikrát na prohnuté vlýskové podlaze uklouzly a upadly. Školní lavice byly zřetelně skloněny směrem k půdorysnému středu učebny, kde bylo viditelné „úžlabí“. Kulaté a válcovité předměty, které žákům během výuky z lavic upadly, se hromadily v tomto místě, kde si je žáci o přestávkách, popř. po vyučování sbírali.

Zaměstnanci školy se shodovali, že stropní konstrukce byla vždy zřetelně prohnutá, avšak v poslední době se jim jevilo, že dochází k značnému nárůstu průhybu. Tyto výpovědi a statický výpočet potvrzovaly, že stropní konstrukce je silně poddimenzována jak z hlediska mezních stavů únosnosti, tak z hlediska mezních stavů použitelnosti.

Z analýz stropní konstrukce při uvažování reologických vlastností betonu se ukazovalo, že průběh dotvarování vykazuje značnou nelinearitu a že došlo k bodu zvratu, tj. bodu, od kterého dochází ke zrychlenému nárůstu velikosti průhybu, což může vést i ke zřícení konstrukce.

V běžných případech, kdy poměr napětí v betonu od zatížení a pevnosti betonu nepřekračuje hodnotu 0,4 až 0,5, dochází k průběhu dotvarování, který je charakterizován z počátku rychlým nárůstem poměrných deformací a pak snižující se rychlostí nárůstu poměrných deformací, jak je patrné z časového průběhu při hladině zatížení 0,4 na obr. 1. Proto není obvykle důvod k obavám z havárie konstrukce, i když se od výstavby betonové konstrukce zjevně zvětšil její průhyb, jak ukazuje případ průhybu prefabrikovaného



Obr. 2 Trhlina na rozhraní schodišťového ramene a stěny, způsobená reologickým průhybem schodišťového ramene

deskového schodišťového ramene v panelových domech typu B70 zobrazeného na obr. 2.

3.1.2. Vliv vlhkosti

Dalším faktorem, který ovlivňuje průběh a velikost dotvarování, je vlhkost. Obecně lze říci, že dotvarování v suchém prostředí je větší než v prostředí vlhkém. Z výsledků více než dvacetipětiletých měření, které provedli Troxell G. E., Raphael J. M. a Davis R. E. [4] a které byly prováděny na válcových vzorcích na něž bylo ve stáří 28 dní vneseno zatížení, u kterého poměr tlakového napětí a pevnosti betonu byl přibližně 0,4, se ukazuje, že beton dotvaruje i za velké vlhkosti prostředí, kdy nelze předpokládat, že dochází k vysychání betonu. Toto nasvědčuje tomu, že na dotvarování se podílí dvě složky: základní dotvarování a dotvarování při vysychání.

Jak je vidět z obr. 3, vlhkost má značný vliv na konečnou hodnotu dotvarování (toto platí i pro smršťování betonu). K termínu konečná hodnota dotvarování poznamenejme, že tímto nebývá v této souvislosti míněna pouze asymptotická hodnota zvolené funkce dotvarování, ale obecně hodnota dotvarování na konci technické životnosti konstrukce.

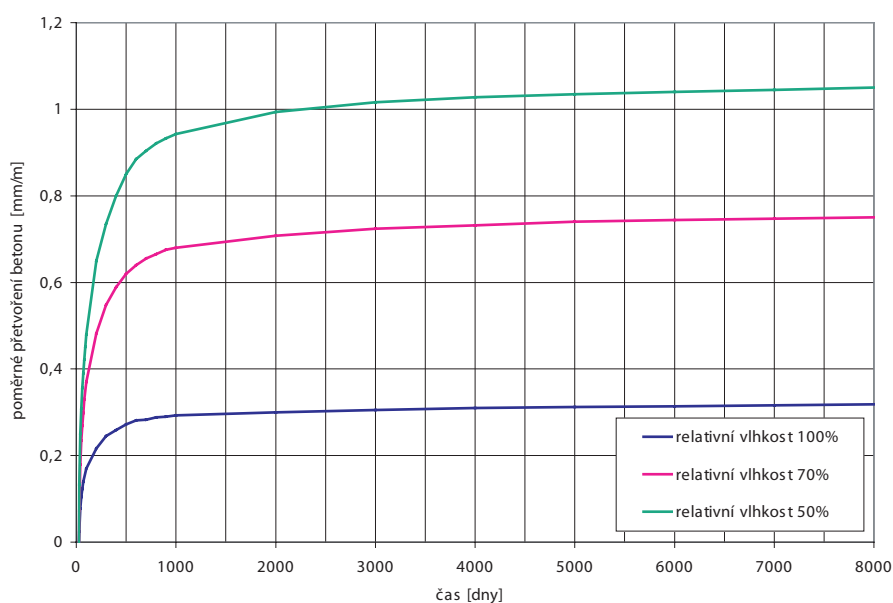
3.1.3. Vliv stáří betonu

Stáří betonu v době vnesení zatížení je významným faktorem, který ovlivňuje velikost dotvarování. Experimenty ukazují, že betony zatížené později mají nižší konečnou hodnotu dotvarování a rovněž průběh dotvarování je u betonů zatížených v různých stářích jiný. V běžných podmínkách se s časem zvyšuje modul pružnosti betonu, takže klesá i počáteční a pružná poddajnost. Vliv rozměrů souvisí s vlivem vlhkosti prostředí. U prvků s menšími rozměry se zvyšuje poměr povrchu prvku, kterým se voda odpařuje, k objemu prvku a konečná hodnota dotvarování je u menších prvků větší.

3.2. Smršťování

3.2.1. Vliv teploty

Všichni obyvatelé panelových domů dobře vědí, že po určité době po vymalování se jim ve stěnách i stropu objeví trhliny mezi



Obr. 3 Vliv vlhkosti na průběh a velikost dotvarování podle měření Troxella G. E., Raphaela J. M. a Davisa R. E. [4].

panely. Tyto trhliny jsou vlastností panelových objektů a vznikají v důsledku objemových změn od smršťování betonu a zatížení teplotou.

3.2.2. Vliv vlhkosti

I když projevy objemových změn betonu uvedené v bodě 3.2.1. nejsou pro uživatele bytů v panelových domech příjemné, nepředstavují žádné ohrožení spolehlivosti konstrukce, jak tomu je u stropních konstrukcí z hrdisek (obr. 4).

O této problematice byla napsána celá řada článků a na konferencích odezněly četné příspěvky, v nichž se za příčinu havárií, při kterých došlo k odtržení spodní části cihelné desky HURDIS, uvádí rozdílné objemové změny cihelné desky a nadbetonávky. Cihelná deska vykazuje nabývání vlivem vlhkostní roztažnosti,

zatímco u betonu nastává smršťování. Nejsou-li tyto vrstvy odděleny, hrozí popsané porušení. To se projevuje zejména u hrdisek, u kterých cihelný stěp vykazuje vysoký modul pružnosti a velkou vlhkostní roztažnost.

4. ZÁVĚR

V článku byly popsány reologické vlastnosti betonu. Vliv faktorů ovlivňujících reologické vlastnosti betonu na vznik poruch stavebních konstrukcí je dokumentován na případech poruch stavebních konstrukcí.

Při celkovém shrnutí obou příspěvků týkajících se reologie by bylo možné uvést určitou paralelu mezi společenskými vztahy a oblastí forenzní statiky. Zatímco ve společenských vztazích se ukazuje, že známé rčení: „Za vším hledej ženu“, má svou platnost, v oblasti forenzní statiky by bylo možno analogicky stanovit obdobně platný výrok: „Za vším hledej reologii“.

5. LITERATURA

- [1] SOBOTKA Z.: *Reologie hmot a konstrukcí*, Academia, Praha, 1981.
- [2] Fotografický archiv autorů.
- [3] GRASSER E., KRAEMER, U.: *Kriechen von Beton unter hoher zentrischer und exzentrischer Druckbeanspruchung*, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 358, s. 84, 1985.
- [4] TROXELL G. E., RAPHAEL J. M., DAVIS, R. E.: *Long-time Creep and Shrinkage Test of Plain and Reinforced Concrete*, ASTM 58, s. 1101–1120, 1958.



Obr. 4 Havárie hrdiskového stropu.