

VYSYCHÁNÍ A SMRŠŤOVÁNÍ BETONU ■

DRYING AND SHRINKAGE OF CONCRETE

Marek Vinkler, Jan L. Vítek

Smršťování betonu je příčinou řady problémů betonových konstrukcí zejména v jejich provozním stavu, tedy v mezních stavech použitelnosti. Smršťování betonu má více složek, pro běžné betony je nejpodstatnější smršťování od vysychání. Článek popisuje základní principy vysychání a smršťování, včetně predikce smršťování dle normových předpisů. Dále jsou uvedeny výsledky experimentálního programu probíhajícího na Fakultě stavební ČVUT. ■ Many problems in performance of concrete structures during their service life (in the serviceability limit states) were observed due to shrinkage of concrete. Shrinkage of concrete has more parts; drying shrinkage is the most important in ordinary concrete. The paper deals with basic principles of drying and shrinkage, and its prediction according to the codes and recommendations. Results of the experimental program carried out at the Faculty of Civil Engineering at the Czech Technical University in Prague are described.

Smršťování betonu je deformace materiálu, která vzniká bez ohledu na působící zatížení. V případě betonových prvků, kde není bráněno jejich volné deformaci, je smršťování příčinou vzniku jednak deformace (ve většině případů zkrácení prvků) a jednak vlastních prnutí, tedy napětí, která jsou vzájemně v rovnováze, ale lokálně mohou dosahovat hodnot překračujících pevnost betonu v tahu, a tedy být důvodem ke vzniku trhlin. V případě prvků, kde není možná volná deformace, vede jejich smršťování opět ke vzniku vlastních prnutí, jejichž výslednice není nulová, ale obvykle tahová, a riziko porušení betonových prvků trhlinami se významně zvětšuje. V provozních stavech, resp. v mezních stavech použitelnosti ve smyslu návrhové normy je proto nutné se deformacemi od smršťování zabývat, neboť mohou ovlivnit užité vlastnosti betonových konstrukcí a zároveň jejich trvanlivost. V článku budou dále uvedeny příčiny smršťování a možnosti jejich predikce.

Vysychání a následné smršťování je nutné respektovat v mnoha případech. Např. lze uvést následující návrhové situace:

- Tlustá deska nebo stěna bez vázané deformace: vlivem vysychání je smršťování nerovnoměrné po průřezu, vznikají vlastní prnutí a riziko vzniku trhlin na površích desky.

- Deska nebo stěna s vázanou deformací: vlivem postupného vysychání se deska nebo stěna smršťuje, čímž kromě vlastních prnutí po průřezu vznikají další tahová napětí a z toho plynoucí riziko trhlin.
- Vodonepropustné betonové konstrukce: převážně vlivem omezené deformace vznikají tahová namáhání, na která je nutné konstrukce dimenzovat, aby reálná šířka trhlin byla natolik malá, že nebude ohrožena vodonepropustnost, popř. navrhnout jiná opatření k redukci tahových napětí.
- Průhyby betonových trámů a desek: při malé, popř. chybějící horní výztuži v polích spojitých nebo prostě podepřených desek vzniká průhyb od smršťování, který je často srovnatelný s průhybem od užitných zatížení.
- Smršťovací pásy: v technické veřejnosti je povědomí, že u desek nebo stěn pozemních staveb proběhne „velká většina“ deformace od smršťování během cca tří měsíců. U tenkých desek by se takový údaj dal někdy akceptovat. U tlustých (základových) desek je smršťování značně pomalejší a probíhá po dobu v řádu let. Funkce smršťovacího pásu je pak velmi omezená, až zanedbatelná. Zde je třeba též připomenout, že smršťovací pás je pak vystaven omezené deformaci ve směru jeho délky. Pokud jeho vyztužení není dostatečně velké, dochází ke vzniku trhlin ve smršťovacím pásu kolmo na jeho směr. Místo omezení poruch se smršťovací pruh může naopak stát jejich zdrojem.
- Podlahové desky: jde obvykle o poměrně tenké desky (cca do 100 mm), které jsou odseparovány od podkladu. V případě průmyslových podlah jsou jejich tloušťky větší (cca 250 až 350 mm) a jsou nabetonovány většinou na podkladním betonu. V obou případech je z hlediska smršťování betonu třeba navrhnout vhodné dělení pomocí smršťovacích spár, aby se předešlo vzniku náhodných trhlin. Betonové desky bývají od podkladu odděleny nepropustnou vrstvou (často PE fólií) a vysychají tak pouze shora. Horní vrstva betonu se smršťuje, zatímco spodní vrstva vysychat nemůže. Důsledkem je zvedání rohů, popř. okrajů jednotlivých úseků desek (tzv. „curling“). Pokud je zvednutý roh přitížen, může dojít k jeho ulomení, tedy

poruše, která je téměř neopravitelná.

- Přímo pojižděné betonové desky (stropní nebo základové desky parkovišť) i jiné podobné konstrukce bývají opatřeny stěrkou nebo jinou podobnou povrchovou úpravou. Výrobci povrchových materiálů předepisují maximální vlhkost betonu, aby mohla být povrchová vrstva spolehlivě aplikována. Často jsou požadovány nereálně vysoké požadavky na vysušení povrchu betonu.

VYSYCHÁNÍ BETONU

V této části je uveden popis základních fyzikálních mechanismů působení vody v betonu: zejména jak beton vodu přijímá, zadržuje a odevzdává.

Hygroskopická vlhkost

Vlhkost betonu v běžném prostředí (vzduch s určitou teplotou a relativní vlhkostí) dosáhne po určité době (většinou velmi dlouhé) rovnováhy s prostředím prostřednictvím výměny tepelné energie a vodních par s okolím. Beton tak přijímá nebo odevzdává hygroskopickou vlhkost, která se nachází v pórech betonu a je zde vázána fyzikálními mechanismy jako je adsorpce nebo kapilární kondenzace. V pórech betonu jsou vodní páry v dynamické rovnováze s hygroskopickou vlhkostí při dané teplotě a relativní vlhkosti. Závislost mezi relativní vlhkostí v pórech betonu a hmotnostní vlhkostí betonu je popsána prostřednictvím sorpční izotermy, křivky, která je závislá na teplotě a stáří betonu a je základní charakteristikou vlhkostního chování materiálu. Sorpční izoterma betonu má typický esovitý tvar (obr. 1), který lze rozdělit na úseky, ve kterých se liší mechanismus adsorpce vodní páry.

Hygroskopická vlhkost vykazuje hysterezi, tj. rozlišujeme adsorpční izotermy, pokud materiál vodu přijímá (vlhčení), resp. desorpční izotermy, pokud materiál vodu odevzdává (vysychání). Desorpční izoterma leží vždy nad adsorpční izotermy.

Transport vlhkosti

Základním mechanismem transportu je difuze vlhkosti pórovým systémem betonu. To je způsobeno gradientem (rozdílem) vlhkosti mezi betonem a vnějším prostředím. Vlastnost betonu popisující rychlost vysychání je difuzivita a může být popsána součinitelem difuze vlhkos-