

# DEFORMACE SYMETRICKY A NESYMETRICKY VYSYCHAJÍCÍCH BETONOVÝCH NOSNÍKŮ

## DEFORMATION OF CONCRETE BEAMS SUBJECT TO SYMMETRIC AND NON-SYMMETRIC DRYING

Petr Havlásek, Vít Šmilauer, Václav Nežerka, Lenka Dohnalová, Radoslav Sovják

**V příspěvku jsou prezentovány výsledky experimentální studie dlouhodobého chování běžného konstrukčního betonu, jejíž jádro tvoří měření průhybu symetricky a nesymetricky vysychajících prostě podepřených nosníků s rozpětím od 1,75 do 3 m. Výsledky tohoto výzkumu pomohou identifikovat vzájemnou interakci vysychání, smršťování, dotvarování a vlivu mikrotrhlinek.**

This paper documents behaviour of concrete beams with spans from 1.75 up to 3 m with fully or partially sealed surface. These measurements present the core of the experimental study on the long-term behaviour of structural concrete. The results will facilitate identification of the interaction among drying, shrinkage, creep and microcracking.

Při analýze smrštění a dotvarování betonových konstrukcí se používají dva základní přístupy. Jednodušší přístup popisuje průměrné chování celého betonového průřezu (cross-sectional approach), je zakotven v normách pro navrhování betonových konstrukcí a postačuje pro analýzu drtivé většiny inženýrských konstrukcí. Proměnlivá tuhost betonu, vyjádřená at už součinitelem dotvarování či funkcí poddajnosti, a smrštění betonu jsou definovány jednotně na celém betonovém průřezu, což je výhodné pro prutové výpočetní modely, kde jsou postačujícím výsledkem deformace a integrální vnitřní síly.

Druhý přístup přiřazuje funkci poddajnosti a smrštění každému jednotlivému bodu konstrukce (material-point approach), čímž lze kromě průměrné odezvy získat i vzhled do složitějších přidružených procesů typických pro betonové konstrukce. Mezi ně patří např. vznik povrchových trhlin vyvolaných vysycháním, expanzí jádra vlivem nárůstu teploty, rychlým ochlazením povrchu či účinkem nesymetricky vysychajících povrchů (desky cementobetonového krytu, průmyslové podlahy, stěny komorových průřezů mostních konstrukcí).

Podkladem pro tvorbu a kalibraci normových vztahů pro průřezový přístup jsou rozsáhlé databáze experimentálních dat z dotvarovacích zkoušek a měření smrštění za konstantních laboratorních podmínek.

Aktualizovaná databáze z Northwestern University [1], [2] obsahuje pro 1 723 rozdílných betonových směsí celkem 1 438 dotvarovacích zkoušek a 3 480 měření smrštění. Bohužel ani takto rozsáhlá databáze není postačující pro vývoj a identifikaci materiálových parametrů konstitutivních vztahů bodového přístupu. Důvodem nevhodnosti není malé množství dat, ale jejich roztržitost a neprovázanost.

Většina dosud provedených experimentů byla primárně navržena za účelem studia materiálu, tj. vlivu složení betonové směsi na odezvu, nikoliv pro analýzu fyzikálních procesů. V databázi je jen naprosté minimum experimentálních studií, které v dostatečně dlouhém časovém horizontu popisují současně základní dotvarování, dotvarování při vysychání a vývoj smrštění konstrukčních betonů běžných pevností. Konkrétně se jedná o osm studií, z nichž sedm skončilo již před více než 30 lety a byl pro ně použit pouze portlandský cement. V žádném z těchto experimentů bohužel nebylo současně monitorováno množství odpařené vody nebo vývoj relativní vlhkosti, které jsou hnací silou smrštění a dotvarování při vysychání. Tyto informace jsou navíc nezbytné pro správnou kalibraci modelu transportu vlhkosti.

Pokročilé konstitutivní modely pro dotvarování a smršťování betonu na úrovni materiálového bodu trpí nedostatkem vhodných experimentálních

dat. V roce 2019 byl proto na Fakultě stavební ČVUT v Praze zahájen experimentální program, v němž jsou standardní měření doplněna souborem 30 betonových nosníků s rozpětím od 1,75 do 3 m, jejichž povrch byl zcela či částečně zapečetěn proti vysychání. Cílem je vytvořit jedinečnou a ucelenou databázi sloužící k ověření stávajících a k vývoji nových materiálových modelů a pomocí získaných dat rovněž identifikovat interakci smršťování, dotvarování a účinku mikrotrhlinek.

### Experimentální program

Pro eliminaci vlivu materiálové variability způsobené opakovaným mícháním a s přihlédnutím k množství potřebného betonu byly všechny vzorky připraveny z jedné záměsi transportního betonu, jehož složení je shrnuto v tab. 1. Z důvodu snížení autogenního smrštění a současně pro zlepšení zpracovatelnosti byl zvolen vyšší vodní součinitel 0,49. Jako pojivo byl použit směsný cement s 29% náhradou slínku vysokopecní struskou.

Při zrání vzorků byla snaha se co nejvíce přiblížit zapečetěným (vlhkostně izolovaným) podmínkám. Proto byl nad vybetonovanými vzorky zbudován provizorní fóliový stan s vyvěrači mlhy. Vlivem jejich nedostatečného výkonu a netěsnosti stanu však začala po několika dnech relativní vlhkost zvolna klesat. Aby se zabránilo nekontrolovanému vysychání vzorků, což by mohlo vést nejen ke vzniku