

EXPERIMENTÁLNÍ STANOVENÍ VÝVOJE CHEMICKÉHO A AUTOGENNÍHO SMRŠTĚNÍ CEMENTOVÝCH PAST ■ EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE PROCESS OF CHEMICAL AND AUTOGENOUS SHRINKAGE OF HYDRAULIC CEMENT PASTES

Barbara Kucharczyková, Dalibor Kocáb, Pavla Rovnaníková, Romana Halamová, Michaela Hoduláková

Chemické a autogenní smrštění jsou často skloňovanými pojmy v souvislosti s objemovými změnami probíhajícími v raném stádiu cementových materiálů. Základním rozdílem mezi oběma typy smrštění je jejich reálný dopad na změnu objemu finálního betonového prvku. Zatímco chemické smrštění se projevuje redukcí absolutního objemu, autogenní smrštění se projevuje změnou zdánlivého objemu. Vzhledem ke skutečnosti, že chemické smrštění cementu probíhá vždy a je považováno za hnací sílu autogenního smrštění, zvýšil se zájem o oba typy smršťování zejména v souvislosti s vývojem vysokohodnotných betonů, pro něž je typický zejména nízký vodní součinitel či vysoký objem pojiva vzhledem k objemu kameniva. Tyto faktory zvyšují riziko vzniku autogenního smršťování, a tím i riziko vzniku smršťovacích trhlin. Pro vyjádření tohoto rizika je třeba obě složky smrštění oddělit. V článku jsou prezentovány výsledky měření chemického a autogenního smrštění na cementových pastách z různých druhů cementu jakožto základního materiálu pojivové složky malt a betonů. ■ Chemical and autogenous shrinkage are terms often mentioned in relation to the volume changes that take place in the early age of cementitious material. The basic difference between these two types of shrinkage is their real impact on the change in the volume of the final concrete element. While the chemical shrinkage is manifested by reduction of the absolute volume, the autogenous shrinkage is reflected in the change of the apparent volume. Due to the fact that the chemical shrinkage of cement is always present and is considered to be the driving force of shrinkage under autogenous conditions, the interest in both types of shrinkage has increased, especially in conjunction with the development of the high performance concretes, which are characterized by low water-cement ratio or high binder-aggregate ratio. These factors increase the risk of autogenous shrinkage and thus the risk of shrinkage cracks. To express this risk, both shrinkage components need to be separated. The paper presents results of the chemical and autogenous shrinkage measurements performed on the cement pastes made from various types of cement, which is a basic component of binder in mortars and concretes.

Tuhnutí a tvrdnutí cementových materiálů jsou chemické a fyzikální procesy způsobující změny v mikro- a makrostruktuře materiálů, což se následně odráží na objemových změnách finálního produktu. Tyto objemové změny se projevují změnou absolutního objemu pevné fáze a zdánlivého objemu prvku – chemické smrštění se projevuje redukcí pevné fáze, zatímco autogenní smrštění se projevuje také změnou vnějších rozměrů prvku. Velikost těchto změn závisí zejména na povaze jejich původců [1].

Základní složkou objemových změn cementových materiálů je chemické smrštění, které je výsledkem hydratačních reakcí. Obecně platí, že absolutní objem reaktantů je větší než absolutní objem hydratačních produktů. Dále je pak velikost chemického smrštění závislá především na chemickém a mineralogickém složení cementu a také na velikosti jeho částic, což ovlivňuje rychlost a celkový trend vývoje chemického smrštění [2], [3]. Jedním z dalších faktorů ovlivňujících zejména rychlost nástupu a následný vývoj chemického smrštění je používání různých typů přísad a příměsí do betonu [4]. Vzhledem k povaze chemického smrštění lze jeho vývoj předpovídat na základě křivky vývinu hydratačního tepla. Nejstrmější nárůst chemického smrštění obecně nastává v době hlavního hydratačního vrcholu, kdy dochází k uvolnění největšího množství hydratačního tepla [5].

Pokud je však betonový prvek v průběhu zrání izolován tak, aby bylo zcela zabráněno výměně vlhkosti mezi betonem a okolním prostředím, pak kromě chemického smrštění může nastat i smrštění autogenní. Chemické smrštění je tak považováno za hnací sílu autogenního smrštění [4], které se pak odráží na změně zdánlivého objemu prvku. O tom, zda nastane či nastane autogenní smrštění, rozhoduje zejména velikost vodního součinitele (w/c), poměr objemu pojiva ke kamenivu (b/a) či hutnost cementového kameniva [6]. Způsob ošetřování betonu během jeho zrání není pro smrštění zcela rozhodující, pouhé ošetřování povrchu prvku či konstrukce nemusí zabránit

jeho vzniku. V této souvislosti se v některých případech používá tzv. vnitřní ošetřování, které je zajištěno přítomností pórovitého kameniva přidávaného do malt a betonů [7].

Je nutné si uvědomit, že problematika autogenního smrštění u cementových past je zcela odlišná od problematiky autogenního smrštění u malt a betonů. Velikost autogenního smrštění a dosažení jeho ustálené hodnoty je přímo závislé nejen na stupni hydratace cementu, ale také na velikosti, množství a rozložení pórů ve struktuře materiálu, typu, množství a velikosti kameniva či velikosti vzorku. Původ autogenního smrštění je, mezi jinými, také velmi srozumitelně popsán v knize P. C. Aicinta „Vysokohodnotný beton“, vydané v roce 2005 v českém jazyce [6]. Hlavní roli ve vývoji autogenního smrštění, nazývaného také jako smrštění samovysycháním, sehrává tvorba menisků v kapilárních pórech. V autogenních podmínkách dochází k úbytku vody pouze vlivem hydratace cementu, během níž se tvoří kapilární póry. Postupná ztráta vody z kapilár vede k tvorbě menisků, což vyvolává vznik kapilárních sil – obecně platí, že čím menší jsou kapiláry, tím vznikají větší kapilární síly. Tyto síly pak vyvolávají smršťování. To pak probíhá tak dlouho, dokud je v systému přítomný nehydratovaný cement a voda či existuje vysoký parciální tlak v kapilárách, vyvolaný přitahováním vody nehydratovanými zrny cementu. K ustálení pak dochází v momentě, kdy v systému není žádná voda nebo nehydratovaný cement, anebo dojde k výraznému poklesu parciálního tlaku v kapilárách [6], což vede k poklesu síly potřebné k vázání kapilární vody. To pak vede k ustávení hydratace i přesto, že ve struktuře materiálu jsou stále přítomna nehydratovaná zrna cementu.

V posledních desetiletích bylo chemické i autogenní smrštění podrobně studováno v souvislosti s vývojem vysokohodnotného a ultra vysokohodnotného betonu (HPC, UHPC). Důvodem je nízký w/c , typický pro oba typy betonů. Bylo prokázáno, že se snižujícím se w/c se zvyšuje jak riziko vzniku, tak i velikost autogenního smrštění, což zvyšuje riziko vzniku smršťovacích trhlin ve velmi