



Vliv vlastností vodního uložení na výsledky zkoušek odolnosti betonu vůči cyklickému namáhání mrazem a chemickým rozmrazovacími látkami

The Influence of Water Storage Properties on the Results of Tests of Concrete Resistance to Cyclical Frost Stress and De-Icing Chemicals

Kristýna Hrabová^{a,b*}, Jakub Niedoba^a

^aVysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno

^bVysoké učení technické v Brně, Ústav soudního inženýrství, Brno

Abstrakt

Beton jakožto nejpoužívanější stavební materiál je hodnocen podle celé řady hledisek včetně jeho trvanlivosti. V posledních letech jsou publikovány vědecké a odborné práce, které se zabývají možnostmi hodnocení jeho trvanlivosti za účelem zajištění požadované životnosti betonových konstrukcí. Článek je zaměřen na problematiku zjišťování a hodnocení odolnosti povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek. Konkrétně tedy zkoumání vlivu vlastností vodního uložení při zrání betonu na výsledky zkoušení jeho odolnosti vůči cyklickému namáhání mrazem a chemickým rozmrazovacími látkami. Tato problematika je řešena jako podnět z praxe, kdy se odborníci z oblasti výroby cementu a betonu domnívají, že různé chemické složení vody při uložení zkušebních těles má vliv na výsledky těchto zkoušek.

Příspěvek byl prezentován na konferenci JuFos 2021.

Klíčová slova: Beton; trvanlivost; odolnost, rozmrazovací látky; vodní uložení.

Abstract

Concrete is the most widely used building material and is typically evaluated from many points of view, including its durability. In recent years, scientific and professional works have been published that deal with the possibilities of evaluating its durability to guarantee the required service life of concrete structures. The article deals with the topic of investigating and evaluating the resistance of the concrete surface to the effects of water and de-icing chemicals. In particular, it deals with the investigation of the influence that the properties of water storage have on the results of tests of concrete resistance to cyclical frost stress and de-icing chemicals during the process of concrete curing. This is, in fact, motivated by practice, as experts in the field of cement and concrete production believe that when placing test specimens into water for testing the resistance of concrete to de-icing chemicals, the chemical composition of water affects the results of these tests.

Keywords: Concrete; durability; resistance; de-icing chemicals; water storage.

1. ÚVOD

Rozhodující vliv na trvanlivost stavebních materiálů má působení vnějšího prostředí, tedy environmentálního zatížení. V současnosti existuje několik normativních laboratorních zkoušek, zabývajících se hodnocením vlivu míry poškození povrchové vrstvy betonu, založených na hodnocení její degradace působením vody a chemických rozmrazovacích látek (CHRL),

například norma ASTM C672 / C672M – 12 [4], metoda CDF podle RILEM TC 117-FDC [5]. V České republice se konkrétně jedná o metody, které jsou specifikovány v normě ČSN P CEN/TS 12390–9 [6] a ČSN 73 1326 [7]. Obecně jsou tyto zkoušky založeny na principu cyklického zatěžování zkušebních těles pomocí změny teploty, kdy je možné tyto tělesa ponořit do solných roztoků pro zkoumání jejich odolnosti proti chemickým a rozmrazovacím látkám. Norma [6] se však v současné době

Dodáno do redakce: 25. 5. 2021

Recenzní řízení: od 25. 5. 2021 do 26. 5. 2021

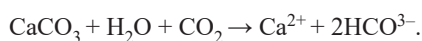
DOI: <http://dx.doi.org/10.13164/SI.2021.2.9>

*Korespondenční adresa: kristyna.hrabova@vutbr.cz

používá jen zřídka. Důvodem je zdoluhavý a poměrně složitý postup a nízká vypovídací schopnost. Norma [7], která je v platnosti od roku 1984, se zabývá namáháním zkušebních těles při cyklickém střídání teplot. Tato norma udává dvě metody pro zkoušení: metodu A a metodu C. Tyto metody jsou standardně používány k hodnocení trvanlivostních charakteristik ztvrdlých betonů (stupeň vlivu prostředí). Při zkouškách odolnosti betonu proti chemickým rozmrazovacím látkám se stanovuje odolnost povrchu betonu, vystaveného působení vody s rozpuštěnými solemi (nejčastěji 3 % roztok NaCl) a zmrazovacím cyklům. Tyto zkoušky by měly napodobit skutečné prostředí, ve kterém se betonová konstrukce vyskytuje.

Odolnost betonu proti cyklickému namáhání mrazem a chemickými rozmrazovacími látkami je v posledních letech velkým technologickým problémem, který řeší nejen technologové a zkušební laboratoře, ale i projektanti betonových a železobetonových konstrukcí. Výsledky laboratorních zkoušek může ovlivnit celá řada faktorů [11]. Jedním z nich je charakter vodního uložení, o němž se odborníci domnívají, že může ovlivnit výsledky zkoušek CHRL. V normě [12] nejsou podrobně specifikovány požadavky na vodní uložení, v němž jsou betonové vzorky uloženy po dobu zrání. V praxi je tak možno potkat se s různými druhy vodního uložení. Některé zkušební laboratoře ukládají vzorky do vyčištěných nádrží s čerstvě napuštěnou vodou, jiné je ukládají do odstáté (použitá) vody, v níž už zrála předchozí zkušební tělesa. Tato použitá voda má jiné chemické složení a pH než voda čerstvá. Norma [12] také uvádí, že je možno zkušební tělesa uložit do vlhkého prostředí, ve kterém je předepsaná $\geq 95\%$ vlhkost vzduchu a stálá teplota 20 ± 2 °C.

Ve vodním uložení, při kontaktu betonu s vodou, dochází ve vodě k vyluhování $\text{Ca}(\text{OH})_2$. V měkké vodě je toto vyluhování markantnější. Tvrdost přechodná čili hydrogenuhličitanová je dána obsahem kyselých uhličitánů vápenatých a hořečnatých, jejichž rozpustnost je omezoována obsahem oxidu uhličitého ve vodě. Jestliže jeho množství ve vodě klesne, dochází k rozkladu kyselých uhličitánů a jejich vyloučení ve formě „normálních“ uhličitánů. To se projeví poklesem tvrdosti vody. Naopak při zvýšení obsahu oxidu uhličitého ve vodě dochází k tomu, že CaCO_3 přechází postupně do roztoku:



Cílem tohoto článku je upozornit na problematiku zjišťování a hodnocení odolnosti povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek. Tato problematika je řešena jako podnět z praxe, kdy se odborníci z oblasti výroby cementu a betonu domnívají, že různé chemické složení vody při uložení zkušebních těles vede k vysoké reprodukovatelnosti výsledků zkoušek. Na základě vysoké reprodukovatelnosti dochází ke sporům, kdy si objednatel nechá provést zkoušky odolnosti betonu proti CHRL akreditovanou laboratoří. Akreditovaná laboratoř dodá výsledky mírně lišící se od výsledku, kterých dosáhl dodavatel betonu. Poté vzniká spor mezi dodavatelem a objednatel, kdy objednatel žádá snížení ceny [11]. V rámci studie je zkoumáno, zda charakter vody ve vodním uložení může ovlivnit výsledky zkoušek odolnosti proti CHRL. Z důvodu stále probíhajícího experimentu jsou v tomto článku uvedeny pouze částečné výstupy.

2. POPIS EXPERIMENTU

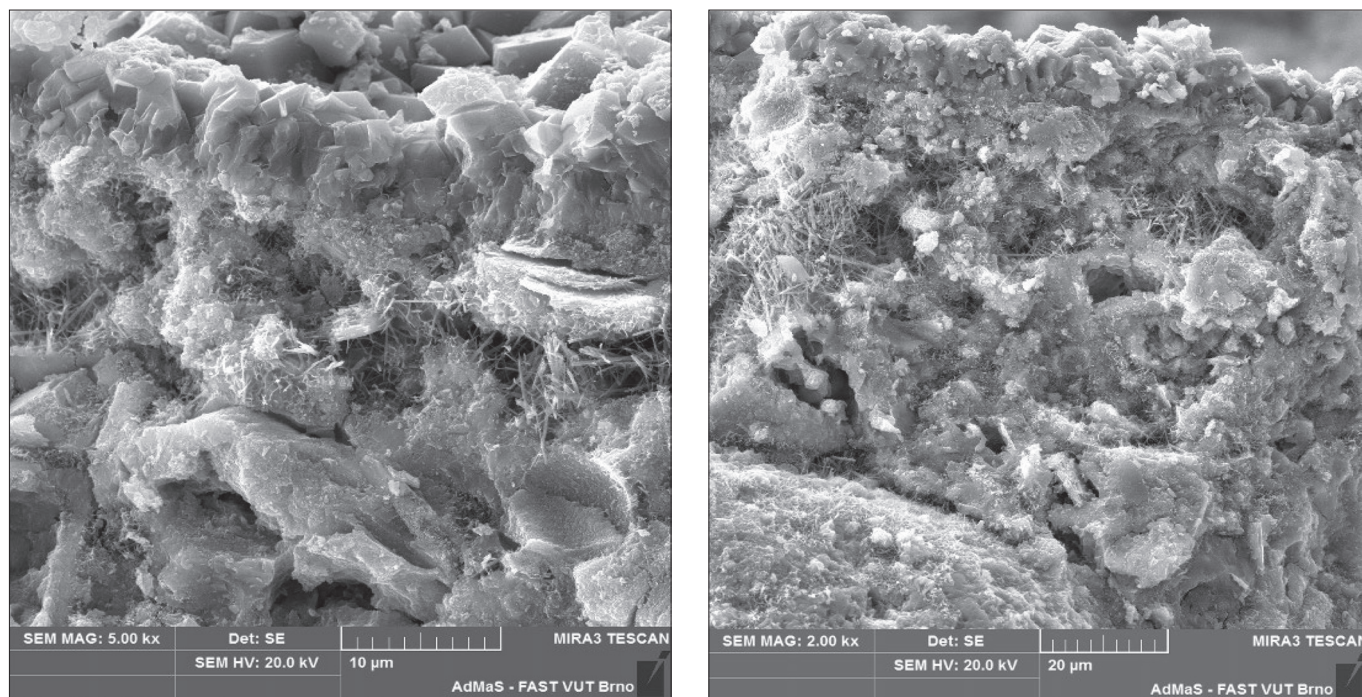
V rámci provedeného experimentu byl použit beton s označením C30/37 XF4 S4 D16, jehož složení je uvedeno v tab. 1. Zkušební tělesa byla vyrobena ve zkušební laboratoři BETOTECH s.r.o., přičemž vzorek čerstvého betonu byl odebrán v betonárně TBG METROSTAV. Čerstvý beton byl ukládán do stejného typu forem, jedním týmem pracovníků, při dodržení stejných výrobních podmínek. Vyrobena zkušební tělesa byla uložena po dobu 24 hodin v laboratorních podmínkách, poté byla tělesa odformována a převezena do laboratoře FAST VUT.

Tab. 1 Složení čerstvého betonu.
Tab. 1 Composition of fresh concrete.

Složka	Množství [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
CEM I 42,5 R	395
Kamenivo 8–16	900
Kamenivo 0–4	793
Superplastifikátor	2,2
Provozdušňovací přísady	1,0
Voda	155



Obr. 1 Zrání betonu ve vodním uložení – standardní voda z vodovodního řádu (vlevo), použitá voda (vpravo).
Fig. 1 Placing test specimens into water; on the left standard water; on the right used water.



Obr. 2 Snímky povrchu zkušebních těles z elektronového mikroskopu.
Fig. 2 Scanning electron microscopy micrographs of the concrete specimen.

Tab. 2 Hodnota pH vodního uložení.
Tab. 2 pH of water storage.

Typ vodního uložení	pH roztoku [-]
Použité	13,33
Standardní	7,38
Průtokové	6,67

Následně byla tělesa rozdělena do tří skupin, kdy jednotlivé skupiny zkušebních těles byly uloženy do různých typů vodního uložení po dobu zrání betonu:

- První skupina těles byla uložena do vyčištěné nádrže s vodou z vodovodního řádu.
- Druhá skupina byla uložena do použité vody, do které byla již dříve uložena betonová zkušební tělesa.
- Třetí skupina těles byla uložena do nádrže s proudící vodou z vodovodního řádu. Rychlost proudění vody byla

stanovena na 1 l/h tak, aby nedošlo k plnému nasycení $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

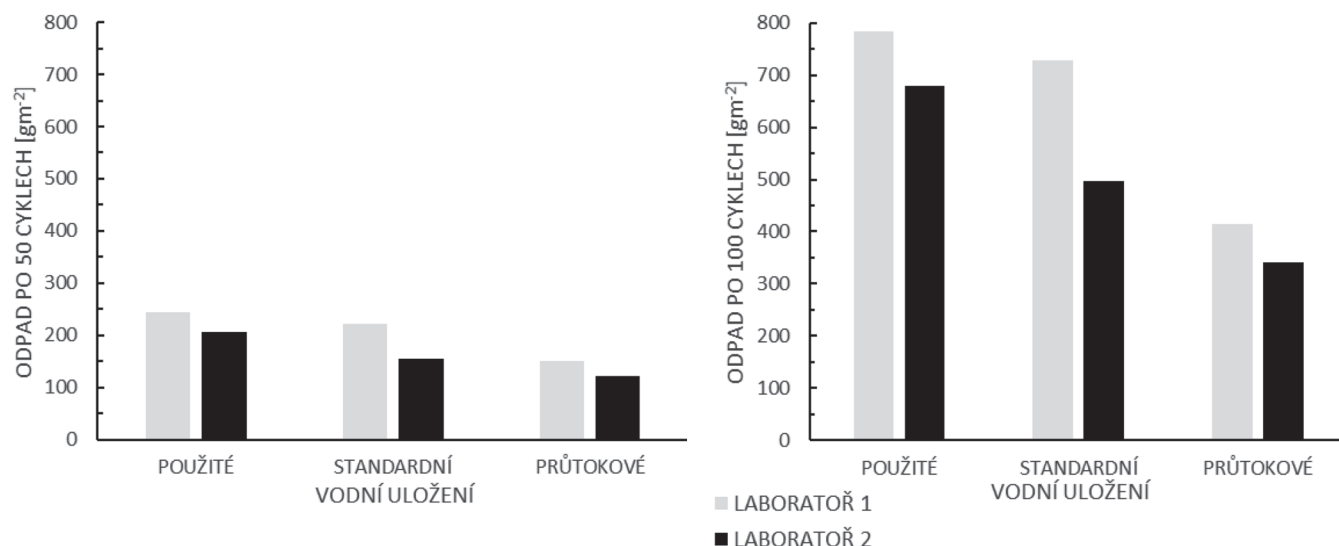
Před samotným uložení betonových těles do vodního uložení bylo změřeno pH jednotlivých roztoků. Naměřené pH hodnoty jsou vyobrazeny v tab. 2.

Po uplynutí doby zrání (28 dní) byla tělesa osušena a natřena chemoprénovým nátěrem v úrovni 5 mm od povrchu tělesa, neboť norma požaduje, aby bylo zkušební těleso ponořeno 5 ± 1 mm ve zkušebním roztoku [13]. Po zavaznutí chemoprénového nátěru byly vzorky zabaleny do fólie a odeslány čtyřem zkušebním laboratorům. Každá zkušební laboratoř obdržela tři sady zkušebních těles. Před provedením zkoušky odolnosti betonu proti CHRL byl povrch těles mikroskopicky zkoumán, aby bylo možno stanovit změnu povrchové vrstvy vlivem působení vodního uložení.

Z výsledků rastrového elektronového mikroskopu (SEM) je patrné, že při vodním uložení v proudící vodě se na povrchu vzorků vytváří tenká vrstva CaCO_3 , která vzniká z vyluhujícího se

Tab. 3 Výsledky zkoušek odolnosti betonu proti působení CHRL – metoda A.
Tab. 3 Resistance of concrete surface to water and defrosting chemicals test results – method A.

Zkušební laboratoř	Typ vodního uložení	Odpad po 50 cyklech [gm^{-2}]	Odpad po 100 cyklech [gm^{-2}]
1	Použité	243,4	783,2
	Standardní	221,5	728,8
	Průtokové	150,4	414,0
2	Použité	206,5	679,8
	Standardní	154,3	496,7
	Průtokové	121,6	341,2



Obr. 3 Odpady po provedení zkoušky CHRL.
Fig. 3 Concrete mass loss induced by surface salt scaling.

hydroxidu vápenatého z betonu a volného CO₂ z vody. Tato vrstva přispívá ke zpevnění povrchové vrstvy betonu, což se může projevit vyšší odolností proti CHRL a zmrazovacím cyklům. Snímky z elektronového mikroskopu ukazují, že vrstva CaCO₃ vzniká nejen u vzorků uložených v proudící vodě, ale i ve standardní vodě z vodovodního řádu a vodě již použité. Tato vrstva však není příliš kompaktní. Následně byla na tělesech provedena zkouška odolnosti betonu proti CHRL metodou A.

Na základě prvotních výsledků probíhajícího experimentu bylo potvrzeno, že různé druhy vodního uložení ovlivňují výsledky zkoušek odolnosti betonu proti CHRL metodou A. V tab. 3 je ukázka prvotních výsledků zkoušek. Z výsledků je patrné, že nejnižší hodnoty odpadu dosahují u všech zkušebních laboratoří zkušební tělesa, která byla uložena v průtokové vodě, ve které nedocházelo k nasycení roztoku. Výsledky naznačují, že při uložení zkušebních těles do průtokové vody dochází v povrchových vrstvách betonu ke zpevnění. Takto zpevněné povrchové vrstvy dosahují výrazně vyšší odolnosti při zkoušce odolnosti betonu proti CHRL metodou A. Naopak nejnižší odolnost povrchové vrstvy dosahovala tělesa uložena v použité vodě, která měla oproti ostatním druhům vodního uložení zásadité pH. Ve vodním uložení s použitou vodou nedocházelo ke zpevnění povrchových vrstev betonu, které nastává při vyluhování Ca(OH)₂ z betonu.

3. ZÁVĚR

Odolnost betonu proti cyklickému namáhání mrazem a proti chemickým rozmrazovacím látkám je technologickým problémem, který řeší nejen technologové a zkušební laboratoře, ale i projektanti betonových a železobetonových konstrukcí. Výsledky laboratorních zkoušek může ovlivnit mnoho faktorů. Provedené experimenty ukazují, že jedním z těchto faktorů může být i charakter vodního uložení. Z výsledků vyplývá, že při uložení zkušebních těles do průtokové vody dochází v povrchových vrstvách betonu k většímu zpevnění než při uložení do standardní vody z vodovodního řádu, či vody použité. Takto zpevněné povrchové

vrstvy pak dosahují výrazně vyšší odolnosti při zkoušce odolnosti betonu proti CHRL metodou A. Kompletní výsledky probíhajícího experimentu včetně rozsáhlé analýzy budou předmětem dalších navazujících publikací.

4. PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za podpory fakultního specifického výzkumu VUT „Vliv vlastností vodního uložení na výsledky zkoušení odolnosti betonu vůči cyklickému namáhání mrazem a chemickým rozmrazovacím látkám“, evidovaným pod číslem FAST-J-21-7450 a za podpory projektu GAČR č. 19-22708S „Nové přístupy k predikci trvanlivosti provzdušněného betonu prostřednictvím zjišťování obsahu a rozložení vzduchových pórů a mrazuvzdornosti vrstvy betonu“.

5. LITERATURA

- [1] KOCÁB, D., KOMÁRKOVÁ, T., KRÁLÍKOVÁ, M., Petr MISÁK, P., MORAVCOVÁ, B. Experimental determination of the influence of fresh concrete's composition on its resistance to water and de-icing chemicals by means of two methods. *Material in Tehnologije*. Switzerland: *Trans Tech Publications Ltd*, 2016, 387-395 ISSN 1580-2949. Dostupné z: doi:10.17222/mit.2015.233.
- [2] KOCÁB, D., MISÁK, P., VYMAZAL, T., KOMÁRKOVÁ, T., HALAMOVÁ, R. Stanovení odolnosti povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek – metody, praxe, problémy. *Beton TKS*, 2017(2), 42–47. Dostupné z: https://www.betonTKS.cz/sites/default/files/2017-2-42_0.pdf
- [3] TEPLÝ, B., HÁJEK, P., HRABOVÁ, K. Concrete, Sustainability and Limit States. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Praha, 2019. ISSN 1755-1307. Dostupné z: Doi:10.1088/1755-1315/290/1/012049.
- [4] ASTM C672/C672M-12. Standard Test Method for Scaling

- Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals (Withdrawn 2021). První. West Conshohocken: PA: ASTM International, 2012.
- [5] RILEM TC 117-FDC, TC 117-FDC Recommendation – CDF test – test method for the freeze thaw and deicing resistance of concrete – Tests with sodium chloride (CDF). Materials and Structures: Mater. Struct. RILEM Publications SARL, 1996, 29(193), 523–528. ISSN 1359-5997.
- [6] ČSN P CEN/TS 12390-9 (731302). Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 9: Odolnost proti zmrazování a rozmrazování – Od lupování. První. Praha: ÚNMZ, 2007.
- [7] ČSN 73 1326. Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek. První. Praha: ÚNMZ, 1985.
- [8] MALÁ, J. Chemie a technologie vody: M04-Voda v průmyslu, zemědělství a energetice. První. Brno: VUT FAST.
- [9] DOHNÁLEK, J., HELA, R., TŮMA, P., KOLÍSKO, J., HROMÁDKO, J. Zkoušení mrazuvzdornosti betonu. *Beton TKS*, 2008, 8(3), s. 54–60. ISSN 1213-3116.
- [10] VYMAZAL, T., ŽALUD, O., MISÁK, P., KUCHARCZYKOVÁ, B., RUMEL, I. Vliv zkušebních forem a ošetřování těles na výsledky zkoušek fyzikálně-mechanických a trvanlivostních charakteristik ztvrdlého betonu. *Beton TKS*, 2001, 1(4), s. 76–79.
- [11] MISÁK, P., VYMAZAL, T., KUCHARCZYKOVÁ, B., ŽALUD, O. Stanovení odolnosti betonu proti působení CHRL podle ČSN 73 1326 – opakovatelnost a reprodukovatelnost výsledků zkoušek. *Beton TKS*, 2013, 2013(4), p. 120–124. ISSN: 1213- 3116.
- [12] ČSN EN 12 390-2. Zkoušení ztvrdlého betonu – část 2: Výroba a ošetření zkušebních těles pro zkoušky pevnosti. Praha: ÚNMZ, 2020.
- [13] ČSN 73 1326 – Z1. Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek. Praha: ÚNMZ, 2003.

Správná citace:

HRABOVÁ, K., NIEDOBA, J. Vliv vlastností vodního uložení na výsledky zkoušek odolnosti betonu vůči cyklickému namáhání mrazem a chemickým rozmrazovacími látkami. *Soudní inženýrství*, 2021, 32(2), 9–13. DOI: <http://dx.doi.org/10.13164/SI.2021.2.9>. ISSN 1211-443X.