

STANOVENÍ ODOLNOSTI POVRCHU BETONU PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHEMICKÝCH ROZMRAZOVACÍCH LÁTEK – METODY, PRAXE, PROBLÉMY ■ RESISTANCE OF CEMENT CONCRETE SURFACE TO WATER AND DEFROSTING CHEMICALS – METHODS, PRACTICE, PROBLEMS

Dalibor Kocáb, Petr Misák,
Tomáš Vymazal, Tereza Komárková,
Romana Halamová

Příspěvek je zaměřen na problematiku zjišťování odolnosti povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, což je v stavebnictví stále aktuální téma. Stanovení této odolnosti betonu je však záležitostí, která je provázána celou řadou otázek, problémů a nejistot. Nejasnosti v postupech i v provádění vedou k vysoké míře variability výsledků, o čemž svědčí i vysoké hodnoty jejich opakovatelnosti a reprodukovatelnosti. ■ This paper deals with the determination of the resistance of cement concrete surface to water and defrosting chemicals which has been a frequently discussed topic in civil engineering for many years. However, determining the resistance of cement concrete surface to water and defrosting chemicals is surrounded by certain uncertainty and a number of unresolved issues. The lack of clarity in the description of procedures as well in execution results in a considerable variability of results as evidenced by the very high values of their repeatability and reproducibility.

Odolnost betonu proti cyklickému namáhání mrazem je velkým technologickým problémem, který řeší technologové, zkušebníci i projektanti již desítky let. Poškození betonu vlivem mrazu lze rozdělit na dva typy, a to podle toho, zda na beton současně s mrazem působí chemikálie či nikoliv.

Pokud na beton chemikálie nepůsobí, principem degradace betonu je postupné porušování jeho vnitřní struktury. Tento jev je způsoben vodou, která při mrznutí v kapilárních pórech betonu zvětšuje svůj objem přibližně o 9 %. To může způsobit vznik mikrotrhlin, což následně vede k degradaci mechanických vlastností betonu. Odolnost proti tomuto typu porušení nazýváme mrazuvzdorností betonu. Více se o tomto fenoménu lze dočíst např. v [1], [2], [3].

Pokud však současně se změnami kladných a záporných teplot působí na beton také chemikálie, je princip degradace betonu zcela jiný – dochází k tzv. odlupování. Odlupování je definováno jako povrchové poškození betonového tělesa, které vzniká působením mrazu

a solného roztoku na jeho povrch. Je tedy zřejmé, že mechanismus odlupování betonu není analogický konvenčnímu působení mrazu. V případě odlupování se jedná o povrchové působení, které sice neohrožuje kvalitu betonu uvnitř konstrukce, činí ovšem beton náchylný k pronikání vody a agresivních látek do jeho struktury, čímž ohrožuje jeho celkovou trvanlivost. Více informací o odlupování se lze dočíst v [4], celkové účinky mrazu na beton jsou podrobně popsány v [5].

Odolnost povrchu betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek je poměrně dlouhý terminus technicus, pro zjednodušení a zejména zkrácení celého textu si autoři dovoří tento termín zkrátit na z hlediska délky přijatelnější variantu „odolnost betonu proti CHRL“. Zkoušku odolnosti betonu proti CHRL, jejímž projevem je odlupování, si nepleťme se zkouškou mrazuvzdornosti betonu.

PROČ A JAK ZKOUŠET ODOLNOST BETONU PROTI CHRL

Na odolnost betonu proti CHRL jsou kladeny požadavky normou ČSN EN 206 [6] a zejména TKP 18 [7]. Norma [6] v Tab. 1 (stupně vlivu prostředí) v části pojednávající o působení mrazu a rozmrazování s rozmrazovacími prostředky nebo bez nich uvádí, že odolnosti betonu proti CHRL se týkají stupně XF2 a XF4. Konkrétně stupeň XF2 je určen pro beton mírně nasycený vodou s rozmrazovacími prostředky a stupeň XF4 je určen pro beton značně nasycený vodou s rozmrazovacími prostředky nebo mořskou vodou. Stupně XF1 a XF3 jsou určeny pro beton, který je nasycený vodou bez rozmrazovacích prostředků. V TKP 18 [7] je však v Tab. 18-3 (mezni hodnoty pro složení a vlastnosti betonu pro stavby pozemních komunikací) uvedeno, že odolnost betonu proti CHRL při zkoušce dle ČSN 73 1326 [8] je požadována u stupňů XF1 a XF3, přičemž jsou tyto požadavky doplněny kritérii, tzn. údaji o zkušební metodě, počtu cyklů a mezní hodnotě odpadu [g/m^2]. Stupně vlivu prostředí řešící pro-

blematiku odlupování jsou tedy přesně naopak než u o dva roky starší normy ČSN EN 206 [6]. Navíc jsou v TKP 18 [7] v Tab. 18-6 (kritéria shody pro odolnost betonu vůči vlivu vody a CHRL), zřejmě pro jistotu, uvedena kritéria hodnocení odolnosti betonu proti CHRL pro všechny stupně vlivu prostředí XF (XF1 až XF4), přičemž tyto údaje s hodnotami uvedenými v Tab. 18-3 nekorespondují. Existuje-li však požadavek (být nepřesně definovaný), je nutné odolnost betonu proti CHRL stanovovat.

V zásadě lze zjistit odolnost betonu proti CHRL pomocí dvou platných norem. První je již zmíněná ČSN 73 1326 [8], druhou je ČSN P CEN/TS 12390-9 [9]. Norma [9], která má termín odlupování přímo ve svém názvu, se však v ČR v podstatě nepoužívá. Důvodů je více. Uvedený postup je poměrně komplikovaný, samotné zkoušení je časově náročné a metoda se také jeví jako málo citlivá – více je možné se dočíst v [10]. V současné době se tedy používá pouze norma [8], která pochází již z roku 1984. Je primárně určena pro zkoušky cementových betonů pro kryty vozovek a jejím principem je namáhání zkušebních těles cyklickým střídáním kladných a záporných teplot za současného působení vody a CHRL. Původně obsahovala dvě metody – metodu A: metoda automatického cyklování a metodu B: metoda ruční manipulace se vzorky. V roce 2003 byla vydána změna Z1, která kromě aktualizace textu přinesla novou metodu C: metoda automatického cyklování II. Dnes se používají převážně metody A a C.

Podle metody A jsou zkušební tělesa umístěna v misce z korozivzdorného materiálu, do které je nalit 3% roztok NaCl tak, aby bylo zkušební těleso ponořeno 5 ± 1 mm. Primárně je tento postup určen pro krychle o hraně 150 mm, ale je možné zkoušet i tělesa jiných tvarů (např. jádrový vývrt). Tělesa jsou během zkoušky umístěna zkušební plochou dolů. Misky se zkušebními tělesy jsou umístěny do automatické zmrazovací skříně, která umožňuje kontrolovaně měnit teplotu. Minimální teplota je -15 °C, maximální $+20$ °C,

přičemž ochlazování na minimální teplotu i ohřev na maximální teplotu musí proběhnout během 45 min. Extrémní teploty jsou udržovány po dobu 15 min, což znamená, že celkový čas jednoho cyklu je 120 minut a 25 zkušebních cyklů trvá 2 dny a 2 h. Po každém 25. cyklu se zkoušení přerušuje a uvolněné částice ze zkušební plochy se proudem vody ze stříčky splaví do misky. Odpadlé částice se vysuší při teplotě 105 °C a následně se zjistí jejich hmotnost s přesností 0,1 g. Odolnost betonu proti CHRL je dána hmotností odpadu na jednotku plochy dle vztahu:

$$\rho_a = \frac{\sum m}{A}, \quad (1)$$

kde $\sum m$ je součtový odpad a A je zkušební plocha včetně smáčené plochy po obvodu tělesa. Výsledek je aritmetický průměr (při zkoušce tří těles). Liší-li se jeden výsledek o více než 50 % od průměru, tato hodnota se vyloučí, liší-li se dva výsledky o více než 50 % od průměru, je nutné zkoušku opakovat. V normě sice nejsou uvedeny žádné údaje o shodnosti, předchozí věta však určitou informaci o hodnotách opakovatelnosti a reprodukovatelnosti výsledků přece jen naznačuje. Závěrem je povrch betonu zatříděn dle tabulky do stupně porušení 1 (nenarušený, odpad do 50 g/m²) až 5 (rozpadlý, odpad přes 3 000 g/m²). Jako výsledek je vždy uvedeno číslo rozdělené pomlčkou, přičemž existují dvě možnosti – podle počtu cyklů (např. 450,2 – 100) nebo podle odpadu (např. 1 000,0 – 115). První číslo vždy udává hodnotu odpadu v g/m² a druhé číslo počet zatěžovacích cyklů.

Dle metody C je možné zkoušet pouze 50 mm vysoký odřez zkušební tělesa tvaru válce o průměru 150 mm (laboratorně vyrobené těleso nebo jádrový vývrt). Směr zkoušení je opačný než u metody A. Zkušební těleso je tedy opatřeno vodotěsnou objímkou (doporučený je vyříznutý pruh z automobilové vzdušnice pneumatiky rozměru 6,50-20) a na zkušební povrch je nalita vrstva 3% roztoku NaCl výšky 5 mm. Takto připravené zkušební těleso je poté zatěžováno zmrazovacími cykly. Minimální teplota je -18 ± 1 °C a maximální teplota +5 ± 1 °C. Ochlazování a minimální teplota má trvat 3 h stejně jako ohřev a maximální teplota, přičemž chlazení i ohřev na extrémní teploty nesmí přesáhnout dobu 30 min. Celkový čas 1 cyklu je 6 h a 25 cyklů trvá 6 dní a 6 h. Po každém 25. cyklu se uvolně-

né částice ze zkušební plochy proudem vody ze stříčky splaví do misky, povrch se okartáčuje tvrdším kartáčem a znovu omyje. Odpadlé částice se vysuší při teplotě 105 ± 5 °C a zjistí se jejich hmotnost s přesností 0,1 g. Před začátkem cyklování musí být nalita na zkušební povrchu voda po dobu 2 dní a po každém 25. cyklu (a okartáčování) po dobu jednoho dne, 100 zkušebních cyklů tedy trvá přibližně 5 týdnů. Výpočet hmotnosti odpadu na plochu 1 m² se provádí s přesností na 10 g/m² a odolnost betonu proti CHRL se hodnotí pomocí součinitelů odolnosti D1 (počet cyklů, po kterých je odpad 1 000 g/m²) až D5 (počet cyklů, po kterých je odpad 5 000 g/m²). Při výpočtu průměrné hodnoty požadovaného součinitele odolnosti z více těles se nesmí lišit jednotlivé hodnoty součinitele o více než 20 % od průměru. Při větší odchylce se tyto hodnoty z výpočtu vylučují. Pokud nelze průměrnou hodnotu vypočítat ani ze dvou výsledků, uvádí se všechny zjištěné hodnoty součinitele odolnosti.

PROBLÉMY PŘI PROVÁDĚNÍ

Postup metody A je v mnoha detailech definován velmi, ale opravdu velmi neurčitě. Postup metody C je formulován detailněji, ale i zde se nacházejí kritická místa. Pokud norma umožňuje upravit nebo pochopit postup zkoušení několika různými způsoby (v závislosti na fantazii a iniciativě zkušebníka), není dobře napsaná. A norma ČSN 73 1326 [8] má takových míst poměrně hodně.

Co vše je tedy úskalím metody A? Jednak je to již výroba zkušebních těles, a to z důvodu zkoušení jejich povrchu. Podstatnou roli hraje délka a kvalita zhutňování. Dojde-li i k mírnému „přehutnění“, které se projeví byť i drobnou segregací u horního povrchu betonového zkušební tělesa, zkoušku odolnosti betonu proti CHRL to zásadním způsobem ovlivní. Důvodem je právě kvalita povrchové vrstvy, která např. pevnost v tlaku v podstatě neovlivní. Stejně tak způsob a kvalita uhlazení zkušební plochy ovlivní výsledky celé zkoušky, neboť pilovitý pohyb si může každý pracovník představit jinak. Dalším důležitým faktorem při výrobě zkušebních těles, který předpis neřeší, je materiál použitých forem pro výrobu zkušebních těles a také typ použitého separačního prostředku, což již bylo experimentálně dokázáno [11]. Tolik zatím pouze k výrobě zkušebních těles, problému je však více.

Jako základní chemická rozmrazovací látka se používá 3% roztok chloridu sodného (NaCl). Norma [8] však neuvádí, zda se jedná o technickou či kuchyňskou sůl, tedy o sůl jodizovanou či nikoliv. Také není uvedeno, zda se pro výrobu roztoku používá pitná nebo destilovaná (deionizovaná, demineralizovaná) voda. Je jasné, že různou kombinací vstupních surovin lze získat roztoky s různými vlastnostmi.

Dalším aspektem, který může výsledky zkoušky odolnosti betonu proti CHRL ovlivnit, je nalití chemického roztoku do misky se zkušebním tělesem. Prostým nalitím roztoku do misky se může snadno stát, že roztok nezateče pod celou plochu zkušební tělesa, neboť hrozí, že mezi miskou a tělesem zůstanou různé velké vzduchové bubliny. Pokud tedy jeden zkušební vzduch zpod tělesa např. nahnutím a poklepáním misky odstraní a druhý jej tam ponechá, každý z nich zatěžuje odlišnou plochu, což samozřejmě vede k odlišným výsledkům. Navíc kontrola výšky hladiny chemického roztoku kolem tělesa je poměrně obtížná, pokud není miska výrazně větší než zkušební těleso, což většinou není. Svoji roli hraje také benevolence 1 mm ve výšce roztoku kolem zkušební tělesa.

Uvedme názorný příklad. Při odpadu 1 000 g/m², hraně krychle 150 mm a výšce roztoku 5 mm je hmotnost odpadlých částic z povrchu tělesa 25,5 g. Pokud by ovšem byla skutečná výška roztoku 4 mm, byla by hmotnost odpadlých částic z povrchu tělesa 24,9 g a při skutečné výšce roztoku 6 mm by byla 26,1 g. Do výpočtu je ovšem obvykle dosazována výška roztoku 5 mm, protože nikdo její přesnou hodnotu nezjistí, a výsledek zkoušky by nebyl 1 000 g/m², ale 976 g/m² (4 mm), potažmo 1 024 g/m² (6 mm). Vše je dle normy [8] v pořádku, jedná se ale o rozdíl mezi vyhovujícím a nevyhovujícím betonem.

Také zaplnění prostoru automatické skříně hraje roli při provádění testu, protože může měnit charakter zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů. Prostor testovací komory, jehož dno je zcela zaplněno miskami s výplňovými tělesy, bude mít jinou tepelnou setrvačnost než prázdná komora s pouze třemi zkušebními tělesy, na což upozornil již příspěvek [10].

Dalším problémem je tvar zkušebních těles, neboť u zkušební tělesa tvaru krychle jsou nevýhodou jeho hrany. K vyšší variabilitě výsledků může přispívat tzv. hranový efekt, tedy možnost, že



mnohé ale napověděl. Bylo použito devět zkušebních krychlí, které byly vyrobeny z kvalitního betonu a byly podrobeny 100 zmrazovacím cyklům. U prvních dvou krychlí byly odpady zjištěny po každém 25. cyklu. U dalších dvou krychlí se začal odpad stanovovat až po 50 zkušebních cyklech a dále po každém 25. cyklu. U třetí dvojice zkušebních těles byl odpad poprvé zjištěn až po 75 provedených cyklech a poté po 100 cyklech. Zbývající tři krychle byly ponechány po celých 100 zkušebních cyklech v mrazicí komoře bez jakékoli manipulace. Výsledky, které jsou zobrazené v grafu na obr. 2, ukazují podstatný rozdíl mezi zkušebními tělesy, s kterými bylo manipulováno již od 25., resp. 50. cyklu, a tělesy, které byly ponechány do 75., resp. 100. cyklu bez manipulace. K tak velkým rozdílům však teoreticky dojít nemělo, neboť smytí částic betonu ze zkušebního povrchu pomocí proudu vody ze stříčky nemohlo mít tak zásadní vliv vzhledem k tomu, že odlupování nebylo nijak extrémní (maximální součtový odpad po 50 cyklech – u tělesa č. 4 – byl pouze 4,2 g). Důvodem rozdílných výsledků se ukázala být voda, která během zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů kondenzovala na víku komory a skapávala dolů na zkušební tělesa a do misek s chemickým roztokem. Tím docházelo k výraznému zředění původně 3% roztoku NaCl, což zapříčinilo menší odlupování u těles, se kterými bylo manipulováno později.

se z tělesa oddělil větší objem materiálu právě z jeho hrany, k čemuž by v ploše nedošlo. I tato skutečnost byla již popsána v [10]. Navíc při zkoušení méně odolných betonů je po určitém počtu cyklů těžké stanovit velikost zkušební plochy, protože právě vzhledem k hranovému efektu to již není plocha zkoušené strany krychle plus 5 mm vysoký pás po obvodu tělesa (obr. 1).

V normě také chybí důležitá informace o tom, že je postup zcela nevhodný pro některé vláknobetonu, neboť vlákna drží odpadlé částice betonu, čímž znemožňují určení jejich hmotnosti.

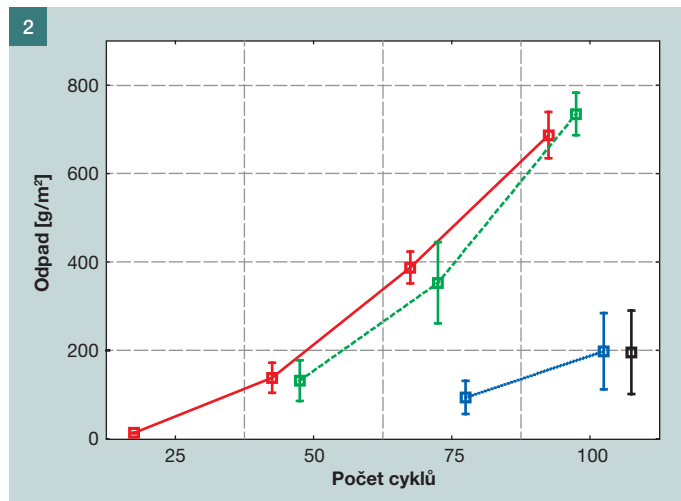
Faktorem, který výsledek zkoušky odolnosti betonu proti CHRL dle metody A normy [8] zcela jistě ovlivňuje, je manipulace se zkušebními tělesy. Autoři tohoto příspěvku provedli drobný experiment, který není vzhledem k statisticky velmi malému souboru dat průkazný,

Norma [8] obsahuje také jednu větu, která může být velmi matoucí. Jedná se o informaci, že během doby, po kterou je zkušební těleso uloženo ve vodě o teplotě 20 ± 2 °C, se provede odřez horního povrchu a obě části tělesa se uloží zpět do vodní lázně. Tato věta je zcela mimo kontext celého postupu metody A a autoři tohoto příspěv-

ku netuší, jak si ji správně vyložit. Je také možné, že je v normě omylem. Není z ní totiž patrné, jaká tělesa by se měla odříznout (zda laboratorní krychle nebo jádrové vývrty z konstrukce), proč by se měla vůbec řezat a především jak by se měla řezat. S přihlédnutím ke skutečnosti, že je v normě několikrát zdůrazněno, že je zkoušen horní povrch tělesa bez jakýchkoli úprav, se odříznutí horního povrchu tělesa jeví jako nesmysl. Tato informace pouze uvádí pracovníky zkušebních laboratoří ve zmatek, přičemž případné řezání zkušebního tělesa nevhodným způsobem může celou zkoušku zcela znehodnotit.

Nejasný je také postup při výpočtu počtu zkušebních cyklů nutných pro zvolený odpad v g/m^2 při zkoušení tří zkušebních těles. Norma [8] totiž neuvádí, zda se má vypočítat průměrný odpad v g/m^2 ze tří krychlí a z tohoto průměru určit počet cyklů, anebo vypočíst počet cyklů pro jednotlivé krychle a z nich poté určit průměrnou hodnotu. Výsledek se může v závislosti na zvoleném postupu lišit. Jako důkaz poslouží následující jednoduchý příklad. Máme tři krychle a chceme stanovit, po kolika zkušebních cyklech bude dosaženo odpadu $3000 g/m^2$, tedy po kolika cyklech je stupeň porušení povrchu betonu 5 – rozpadlý.

- Na zkušebním tělese 1 je po 25 cyklech zjištěn odpad $4329 g/m^2$. Odpadu $3000 g/m^2$ bylo tedy dosaženo po 17,3 cyklu.
- Těleso 2 vykazuje po 25 cyklech odpad $3769 g/m^2$, což znamená 19,9 cyklu na $3000 g/m^2$.
- Z tělesa 3 po 25 cyklech odpadne $6639 g/m^2$, což činí 11,3 cyklu na $3000 g/m^2$.
- Průměrný odpad ze zkušebních těles po 25 cyklech činí $4912 g/m^2$, což znamená, že k odpadu $3000 g/m^2$ by-



Obr. 1 Zkušební tělesa z betonu s nízkou odolností proti CHRL – je složité určit velikost zatěžované plochy ■ Fig. 1 Test specimens made of concrete with low resistance to water and defrosting chemicals – it is difficult to determine the size of the loading surfaces

Obr. 2 Odpad ze zkušebních těles v závislosti na počtu cyklů a na manipulaci s tělesy ■ Fig. 2 Scale-off depending on the number of cycles and manipulation with test specimens

Obr. 3 Zkušební krychle po 100 zatěžovacích cyklech, na jejíž bočních stěnách je vidět vztlínání chemického roztoku ■ Fig. 3 Cubic test specimen after 100 loading cycles; capillary rise of the chemical agent is visible on the side of the cube

Obr. 4 Zkoušení jádrových vývrťů podle metody C: a) zkoušení horního povrchu betonu, b) zkoušení řezné plochy betonu ■ Fig. 4 Core testing according to method C: a) the upper concrete surface test, b) the test of the saw-cut surface of the concrete



lo nutné provést **15 cyklů** – to je výsledkem prvního možného postupu vyhodnocení.

- Je tu ovšem ještě druhá možnost jak určit výsledek. Vypočteme průměrnou hodnotu z počtu cyklů stanovených pro jednotlivá zkušební tělesa. Výsledkem je, že k odpadu 3 000 g/m² bylo nutné provést **16 cyklů**.

Ve výčtu problémů metody A je v tomto příspěvku na posledním místě uveden problém největší, kterým je vzlínání chemického roztoku po bocích zkušebního tělesa. O tomto negativním aspektu zkoušky se ví již dlouho [10]. Boční stěnu zkušebního tělesa, na níž je dobře patrné odlupování vlivem navzlínání 3% roztoku NaCl, si lze prohlédnout na obr. 3. Pracovníci zkušebních laboratoří se během zkoušky dle metody A musí se vzlínáním vypořádat, což s sebou ovšem nese mnoho dilemat. Některé laboratoře se snaží zatěžovanou plochu přesně ohraničit, např. pomocí nátěru bočních stěn krychle 5 mm nad spodní stranou tak, aby zůstala nenatřená pouze definovaná plocha, na kterou má chemický roztok působit. Některé laboratoře kolem krychle místo nátěru ovijí různé plastové pásky, protože „to je přece logické“. To ano, to autoři nerozporují, ale vzlínání to stejně nezabrání (a odpadu zpod pásky) a navíc je postup upraven oproti textu normy. Když se na boční stěnu zkušební krychle neaplikuje žádný nátěr apod., což pravděpodobně nejvíce odpovídá předepsanému postupu, vyvstává nová otázka. Omývat či neomývat „plochu navíc“, tedy část krychle, na níž roztok navzlínal a která je poškozena odlupováním? A když neomývat, jak přesně opláchnout pomocí stříčky jen 5 mm spodní pás bočních stěn? A když omývat, započítat poté do zkušební plochy i plochu vzlínání? A když ano, jak přesně ji určit a je to vůbec korektní? Otá-

zek hodně, ale text normy odpovědi bohužel nenabízí.

Postup metody C je o poznání lépe definován než postup u metody A. Zůstávají však podobné problémy týkající se zejména výroby zkušebních těles (materiál a kvalita použitých forem, použitý separační prostředek, míra a kvalita hutnění, styl úpravy horního povrchu zkušebního tělesa apod.) a míchání 3% roztoku NaCl. Samotný postup zkoušky je pak formulován jasně a srozumitelně tak, že neponechává místo pro různé výklady. Jedinou, o to však fatálnější výjimkou je pasáž o kartáčování zkušebního povrchu tvrdším kartáčem po zkušebních cyklech. Je naprosto jasné, že pokud jeden člověk přitlačí opravdu tvrdým kartáčem, dosáhne absolutně jiných výsledků než člověk, který povrch tělesa „pohladí“ méně tvrdým kartáčem. Toto je jednoznačně Achillova pata metody C.

Jako problematické se také jeví zkoušení jádrových vývrtů. Norma preferuje zkoušení horního povrchu betonu, to je však možné pouze v případě, že na konstrukci není žádná omítka, nátěr apod. V opačném případě je nutné jádrový vývrt zaříznout a poté se zkouší odolnost betonu proti CHRL na řezné ploše, tedy ve vnitřní struktuře materiálu s řezem přes kamenivo. Výsledky zkoušky horního povrchu a řezu jsou jiné, což ovšem norma [8] nijak nereflektuje. Na obr. 4 je vidět dvojice odzkoušených jádrových vývrtů z jedné části konstrukce, přičemž se podařilo odebrat pouze jeden vývrt v místě, kde nebyla omítka. Chování obou těles bylo během zkoušky odolnosti betonu diametrálně odlišné. Vývrt na obr. 4a je zachycen již po 10 cyklech (došlo k velkému porušení povrchu zkušebního tělesa), zatímco vývrt na obr. 4b (zaříznutý) po 25 cyklech. Součinitel D1 byl u nezaříznutého vývrtu vypočten na tři cykly, zatímco u zaříznutého vývrtu na

pět cyklů. Součinitel D5 byl poté 13, po-
tažmo 24 cyklů. Jednotlivé výsledky se lišily o více než 20 %, proto musely být uvedeny oba jednotlivě – zaříznuté a nezaříznuté vývrtky není možné považovat za jeden statistický soubor.

Variabilita výsledků

Vše výše uvedené logicky vede k velmi vysoké variabilitě výsledků zkoušek stanovení odolnosti betonu proti CHRL, o čemž informoval již příspěvek [12]. Následující výsledky byly vyhodnoceny Poskytovatelem zkoušení způsobilosti při SZK FAST (akreditační značka Z7008), který od roku 2010 působí jako organizátor programů mezilaboratorních porovnávacích zkoušek (MPZ) v oblasti stavebních materiálů a výrobků (více na [13]). Statistické vyhodnocování MPZ je prováděno podle postupů řady norem ČSN ISO 5725 [14], [15], [16], ČSN EN ISO/IEC 17043 [17] a ISO 13528 [18]. Hlavním cílem MPZ je vyhodnocení tzv. výkonnosti zkušebních laboratoří prostřednictvím z-score, ale nás budou v tuto chvíli mnohem více zajímat vedlejší výstupy, a to především opakovatelnost a reprodukovatelnost. Tyto charakteristiky by měly být obsaženy v části Údaje o shodě na konci každého normovaného zkušební postupu. V oblasti stavebního zkušebnictví tomu bohužel tak není a norma [8] není výjimkou.

Co nám vlastně tyto hodnoty opakovatelnosti a reprodukovatelnosti říkají? **Opakovatelnost** vyjadřuje, že rozdíl mezi dvěma výsledky zkoušek z téhož vzorku, provedených stejným pracovníkem, na tomtéž zařízení, v nejkratším možném časovém intervalu nebude překračovat hodnotu opakovatelnosti r v průměru ne více než jednou ve 20 případech při běžném a správném provádění metody. Oproti tomu **reprodukovatelnost** vyjadřuje, že vý-

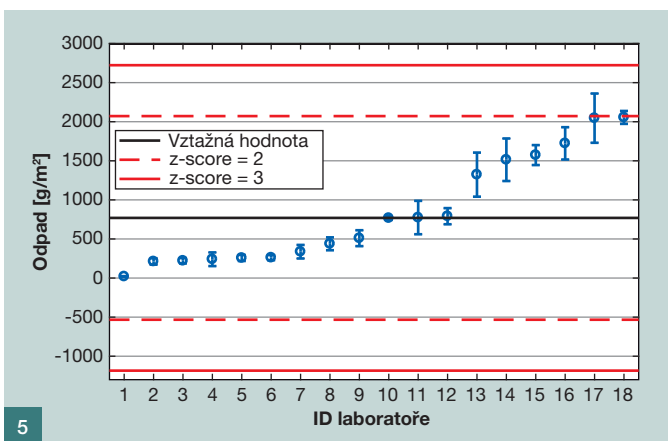
Tab. 1 Opakovatelnost r a reprodukovatelnost R výsledků zkoušek; x^* – vztažná hodnota (robustní odhad střední hodnoty)
 Tab. 1 Repeatability r and reproducibility R of the test results; x^* – assigned value (robust estimation of mean value)

Rok	Metoda	Počet účastníků	x^*	r [g/m ²]	r [%]	R [g/m ²]	R [%]
2010	A	8	11 261	6 761	60	1 7338	154
2012	A	7	136	123	90	179	132
2012	A	17	2 804	1 235	44	4230	151
2012	C	6	131	10	8	228	174
2013	A	13	645	915	142	1 397	217
2013	C	9	860	1 524	177	2 457	286
2014	A	15	149	123	83	426	286
2015	A	18	742	388	52	1 867	252
2015	C	7	207	129	62	447	216
2016	A	11	1 593	968	61	3 627	228

sledky zkoušek na tomtéž vzorku, získané v nejkratším možném časovém intervalu dvěma pracovníky, kteří použili každý své zařízení, se nebudou lišit hodnotou reprodukovatelnosti R v průměru ne více než jednou ve 20 případech při běžném a správném provádění metody. Zjednodušeně řečeno opakovatelnost vyjadřuje míru těsnosti shody mezi výsledky naměřenými jedním pracovníkem v jedné laboratoři a reprodukovatelnost míru těsnosti shody mezi výsledky z různých laboratoří. Tyto charakteristiky nám také tedy říkají, s jakou variabilitou můžeme očekávat výsledky zkoušek. Podrobnější popis lze nalézt např. v [12].

V tab. 1 jsou uvedeny hodnoty opakovatelnosti a reprodukovatelnosti zjiš-

těné v programech MPZ od roku 2010 do současnosti. Vztažná hodnota x^* byla vždy stanovena jako robustní odhad střední hodnoty algoritmem A [18]. Všechny charakteristiky byly stanoveny až po vyřazení odlehlých hodnot, které by mohly ovlivnit výstupy. Pro upřesnění je zde také uveden počet účastníků (akreditovaných laboratoří), kteří se do MPZ zapojili. Velmi zajímavé jsou hodnoty reprodukovatelnosti [%], které se pohybují v intervalu **132 až 286 %**! Na obr. 5 jsou pro lepší představu o charakteru výsledků zkoušek graficky znázorněny průměrné hodnoty výsledků zkoušek účastnicích se laboratoří v porovnání s mezními hodnotami statistiky výkonnosti z-score [17].



Obr. 5 Grafické znázornění výsledků zkoušek v rámci programu MPZ metodou A [8] z experimentu v roce 2015 – průměrné hodnoty a výběrové směrodatné odchylky
 Fig. 5 Test results graphical representation within interlaboratory comparison testing in 2015 – method A [8] – mean values and standard deviations

ZÁVĚR

Z výše uvedeného vyplývá, že zkouška stanovení odolnosti betonu proti CHRL (podle metody A i C normy [8]) má extrémně vysokou variabilitu výsledků. Jednou z příčin je jistě poněkud vágní formulace zkušebních postupů.

V praxi bohužel často narážíme na spory, jejichž podstatu tvoří rozdíly ve výsledcích zkoušek v desítkách g/m².

Literatura:

[1] COLLEPARDI, M. *Moderní beton*. 1. vydání. Praha: ČKAIT, 2009. Přeložil V. Bílek. ISBN 978-80-87093-75-7.

[2] AÍTCIN, P.-C. *Vysokohodnotný beton*. 1. vydání. Praha: ČKAIT, 2005. Přeložil V. Bílek. ISBN 80-86769-39-9.

[3] NEVILLE, A. *Properties of Concrete: 5th Edition*. 5. vydání. New Jersey: Prentice Hall, 2012. ISBN 978-0-273-75580-7.

[4] KOCÁB, D., MISÁK, P., KRÁLÍKOVÁ, M., KOMÁRKOVÁ, T. Experimentální ověření vlivu provzdušňovací přísady na odolnost betonu proti působení chemických rozmrazovacích látek. In: *37. konference Sanace a rekonstrukce staveb 2015 WTA*. Blansko: Vědeckotechnická společnost pro sanace staveb a péči o památky – WTA CZ, 2015. s. 110–115. ISBN 978-80-02-02631-0.

[5] TEPLÝ, B., ROVNANÍK, P. Účinky mrazu na beton. *Beton TKS*. 2007, roč. 7, č. 4, s. 42–47. ISSN 1213-3116.

[6] ČSN EN 206. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: ÚNMZ, 2014.

[7] MINISTERSTVO DOPRAVY, Odbor pozemních komunikací. *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací – Kapitola 18 Betonové konstrukce a mosty*. Praha, 2016.

[8] ČSN 73 1326. *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1984.

[9] ČSN P CEN/TS 12390-9. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 9: Odolnost proti zmrazování a rozmrazování – Odlupování*. Praha: ČNI, 2007.

[10] DOHNÁLEK, J., HELA, R., TŮMA, P., KOLÍSKO, J., HROMÁDKO, J. Zkoušení mrazuvzdornosti betonu. *Beton TKS*. 2008, ročník 8, č. 3, s. 54–60. ISSN 1213-3116.

[11] 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, ročník 1, č. 4, s. 76–79. ISSN 1213-3116.

[12] MISÁK, P., VYMAZAL, T., ŽALUD, O., KUCHARCZYKOVÁ, B. Stanovení odolnosti betonu proti působení CHRL podle ČSN 73 1326 – opakovatelnost a reprodukovatelnost výsledků zkoušek. *Beton TKS*. 2013, ročník 13, č. 4, s. 120–124. ISSN 1213-3116.

[13] ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ VUT V BRNĚ. Poskytovatel zkoušení způsobilosti při SZK FAST [online]. SZK, ©2012. Dostupné z: <http://szk.fce.vutbr.cz/index.php?id=mpz>

[14] ČSN ISO 5725-1. *Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Část 1: Obecné zásady a definice*. Praha: ÚNMZ, 1997.

[15] ČSN ISO 5725-2. *Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Část 2: Základní metoda pro stanovení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti normalizované metody měření*. Praha: ÚNMZ, 1997.

[16] ČSN ISO 5725-5. *Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření – Část 5: Alternativní metody pro stanovení shodnosti normalizované metody měření*. Praha: ČNI, 1999.

[17] ČSN EN ISO/IEC 17043. *Posuzování shody – Všeobecné požadavky na zkoušení způsobilosti*. Praha: ÚNMZ, 2010.

[18] ISO 13528. *Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*. 2005.

Odběratel betonu např. požaduje odpad po 100 provedených zmrazovacích cyklech do 1 000 g/m². Dodavatel betonu (betonárna) provede zkoušky podle [8] se zjištěným odpadem 950 g/m². Odběrateli betonu se však takový výsledek nezdá a nechá si provést tyto zkoušky v jiné akreditované zkušebně s výsledkem 1 050 g/m². Na tomto základě požaduje po dodavateli betonu slevu, a to často výraznou. S ohledem na hodnoty reprodokovatelnosti se však tyto spory zdají až nesmyslné, vždyť hodnota této charakteristiky se může blížit až 300 %!

Co to vlastně znamená? Pokud jedna laboratoř naměří až téměř třikrát vyšší výsledek než laboratoř jiná, pohybuje se stále v intervalu daném reprodukovatelností a výsledky tedy nelze brát za významně odlišné!

Na základě zkušeností autorů, které jsou podepřeny prezentovanými výsledky experimentů, se stanovení odolnosti betonu proti CHRL v podobě, v jaké je v současné době definováno a především v jaké podobě je zkoušeno, jeví jako naprosto nepoužitelné. Takto postavené hodnocení kvality betonu na základě výsledků této zkoušky je v podstatě nesmyslné.

Publikované výsledky byly získány v rámci řešení standardního projektu specifického vysokoškolského výzkumu na VUT v Brně č. FAST-S-16-3125.

Ing. Dalibor Kocáb, Ph.D.
e-mail: dalibor.kocab@vutbr.cz



Ing. Petr Misák, Ph.D.
e-mail: petr.misak@vutbr.cz



doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.
e-mail: tomas.vymazal@vutbr.cz



Ing. Tereza Komárková
e-mail: tereza.komarkova@vutbr.cz



Ing. Romana Halamová
e-mail: romana.halamova@vutbr.cz



všichni: Fakulta stavební VUT v Brně
Ústav stavebního zkušebnictví

Text byl posouzen odborným lektorem.
The text was reviewed.

HISTORIE PŘEDPJATÉHO BETONU

Ing. Jan Vítek, DrSc.



Historické pojednání se věnuje rozvoji technologie předpjatého betonu v našich zemích od jejich počátků po 2. světové válce do 90. let 20. století. Autor přibližuje rozvoj předpjatého betonu i s ohledem na dobu, která nevytvářela podmínky pro spolupráci s technicky vyspělými státy. Kontakty a hospodářské vztahy byly poznamenány válkou a událostmi roku 1948, mnohé teoretické poznatky i výrobní technologie tehdy musely vycházet pouze z domácích zdrojů. I přes tato omezení dosáhl výzkum a realizace v oboru předpjatého betonu v ČR špičkové úrovně. Autor dokázal vývoj předpjatého betonu u nás zasadit do kontextu se stavem oboru v zahraničí a přiblížit základní povědomí o světovém výzkumu v dané době.

Prostor je věnován též význačným stavbám, u kterých je patrný historický vývoj konstrukcí, technologických postupů a hromadné výroby stavebních dílců. Stavby jsou podrobně popsány z hlediska své konstrukce a technologických postupů výstavby. Výběr zahrnuje mosty z prefabrikovaných nosníků, monolitické, segmentové a vysouvané, předpjaté lávky, průmyslové a pozemní stavby, vozovky. Jedná se např. o známé a i pro širší veřejnost atraktivní stavby jako je Nuselský a Barrandovský most v Praze, budova Koospol nebo kolonádu v Karlových Varech. Prostor je v publikaci vyčleněn i pro výrobky z předpjatého betonu, výztuž a způsoby předpínání.

Publikace je vybavena bohatým obrazovým materiálem z dobových pramenů. Navazuje na již dříve vydanou publikaci Dějiny betonového stavitelství, je zařazena do Technické knihovny autorizovaného inženýra a technika a vyšla v edici Betonové stavitelství.

Obsah:

Předmluva O autorovi

- 1 **Počátky předpjatého betonu** (První představy a stavby, Sanace základů přístavní budovy v Le Havre, Železobetonové trámové mosty, Počátek předpjatého betonu u nás, Reorganizace stavebnictví, Kolonáda v Karlových Varech, Technická literatura a pracovní podmínky, Zahraniční stavby s předpětím)
 - 2 **Mosty z prefabrikovaných nosníků** (Nosníky, Typizace mostních nosníků, Inovace ve výrobě nosníků, Podnikové projekty, Doprava a montáž nosníků, Železniční mosty)
 - 3 **Monolitické mosty** (Mosty betonované na pevné skruži, Mosty betonované letmo, Nuselský most v Praze, Později letmo betonované mosty, Betonování letmo na Slovensku)
 - 4 **Segmentové mosty** (Segmenty DSO, Segmenty VPÚ, Segmenty DPS, Segmentové mosty montované bez dočasných podpor, Segmenty SSŽ – FI, Zavěšené segmentové mosty)
 - 5 **Posuvné skruže a vysouvání konstrukcí** (Stavby mostů na posuvných skružích, Vysouvání mostů, Vysouvané mosty u nás)
 - 6 **Lávky z předpjatého betonu** (Nosníkové lávky, Visuté pásy)
 - 7 **Průmyslové a pozemní stavby, vozovky** (Průmyslové haly, Typizace a unifikace, Obytné a administrativní budovy, Individuální stavby, Nádrže a síla, Kontejnmenty atomových elektráren, Vozovky z předpjatého betonu)
 - 8 **Výrobky z předpjatého betonu** (Železniční pražce, Sloupy pro vedení energetických sítí, Předpjaté betonové trouby, Tramvajové panely)
 - 9 **Výztuž a technika předpínání** (Všeobecně, Patentovaný drát, Uspořádání výztuže, Předpínací technika, Zahraniční systémy předpínání, Injekce kabelových kanálků)
 - 10 **Výzkumná činnost v oboru předpjatého betonu**
 - 11 **Naše činnost v zahraničí**
 - 12 **Sanace konstrukcí**
 - 13 **Společenské organizace a jejich činnost**
- Literatura**
Seznam jmen uvedených v publikaci

Vydavatel: Informační centrum ČKAIT
Rok vydání: 2016
Formát: B5, vázaný
Počet stran/obrázků: 320/400
ISBN: 978-80-87438-84-8