

## ZKOUŠENÍ MRAZUVZDORNOSTI BETONU FROST RESISTANCE TESTING OF CONCRETE

**JIŘÍ DOHNÁLEK, RUDOLF HELA,  
PETR TŮMA, JIŘÍ KOLÍSKO,  
JAN HRMÁDKO**

Příspěvek informuje o výsledcích grantového projektu, který byl zaměřen na porovnání stávající ČSN 73 1326 s navrhovanou evropskou normou EN 12390-9. Cílem bylo ověřit vztah mezi naměřenými hodnotami pomocí těchto zkušebních postupů na třech typech betonů s doplňkovým cílem prověřit, do jaké míry skladba betonu může výsledky jednotlivých zkoušek mrazuvzdornosti ovlivňovat. Součástí projektu bylo i provedení mezilaboratorních zkoušek. Z výsledků vyplývá, že metoda podle návrhu EN 12390-9 je málo citlivá, extrémně časově náročná, a pro zavedení tedy nevhodná. Současně však zkoušky ukázaly, že i stávající ČSN 73 1326 vykazuje při porovnávání výsledků získaných v jednotlivých laboratořích na identických zkušebních tělesech značné rozdíly. V závěru příspěvku jsou proto navržena opatření, která by do budoucna mohla reprodukovatelnost zkušebních postupů podle ČSN 73 1326 zvýšit.

*The article states the results of the grant project which was directed towards the comparison of the existing ČSN 73 1326 with the proposed European standard EN 12390-9. The objective was to verify the relation between the measured values by means of these testing procedures on three types of concrete with the additional objective to check which rate the composition of concrete can influ-*

*ence the results of individual frost-proof tests. The performing of inter-laboratory tests are an integral part of this report. It results from the test results that the method according to the EN 12390-9 proposal is less sensitive, extremely time demanding and not recommended for implementation. However, at the same time, the tests showed that the existing ČSN 73 1326 reports compared with the results ascertained in individual laboratories on identical testing bodies have totally different results. At the end of the article, measures are proposed which could, in the future, increase the reproducibility of testing procedures according to ČSN 73 1326.*

Mrazuvzdornost betonu a odolnost povrchu betonu vůči kombinovanému účinku mrazu a posypových solí je jedním z funkčních parametrů (obr. 1), který má rozhodující význam pro dlouhodobou funkčnost takových inženýrských děl, jako jsou betonové dílce a mostní objekty. Proto je nezbytné mít k dispozici zkušební postupy, které jsou schopny dostatečně věrohodně, reprodukovatelně a rychle stanovit tento parametr.

Současně je zřejmé, že stanovení mrazuvzdornosti je poměrně náročné na přístrojové vybavení i na definování takového zkušebního postupu, jehož modelová podobnost s reálným prostředím by byla co největší.

Příspěvek informuje o výsledcích grantového projektu Ministerstva dopravy, který je zaměřen na stanovení převodního vztahu mezi parametry získanými

postupem podle ČSN 73 1326 (metoda A a C), resp. metodami uvedenými v ČSN P CEN / TS 12 390-9.

### ZKUŠEBNÍ METODY

Příspěvek se věnuje porovnání výsledků zkušebních metod popsaných v následujících dokumentech:

- ČSN 73 1326 Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek, platná od roku 1984, se změnou Z1 z roku 2003. Z této normy jsme použili metody automatického cyklování A a C,
- ČSN P CEN / TS 12 390-9 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 9: Odolnost proti mrazu a zmrazovacím cyklům, odlupování.

Dokument ČSN P CEN / TS 12 390-9 byl přijat jako technická specifikace, nikoliv standardní norma. V době řešení grantového projektu byl v přípravné fázi a zvažovalo se jeho vydání jakožto standardní normy, která by měla nahradit ČSN 73 1326. Jsou zde definovány tři zkušební postupy, a to metoda desek, která je deklarována jako referenční, metoda krychlí a metoda CF/CDF, které jsou obě deklarovány jako alternativní. V příspěvku jsou uvedeny výsledky zkoušek pomocí referenční metody desek.

- ČSN EN 1338 (třídící znak 72 3038)

Obr. 1 Mrazové poškození chodníkové desky po jedné zimě

Fig. 1 Frost damaged pavement plates after one winter



Betonové dlažební bloky – požadavky a zkušební metody, schválená v roce 2004

- ČSN EN 1339 (třídící znak 72 3039) Betonové dlažební desky – požadavky a zkušební metody, schválená v roce 2004
- ČSN EN 1340 (třídící znak 72 3040) Betonové dlažební obrubníky – požadavky a zkušební metody, schválená v roce 2004.

Poslední tři dokumenty jsou evropské normy, které byly již přejeté do systému ČSN. Jedná se o normy definující požadavky na výrobky uvedené v jejich názvech. V přílohách norem je popsána zkušební metoda pro stanovení mrazuvzdornosti příslušných výrobků, která je téměř shodná s metodou desek definovanou v ČSN P CEN / TS 12 390-9. Rozdíl je pouze v průběhu teploty ve zkušební komoře, kdy hodnoty některých předepsaných bodů průběhu teplotní křivky se liší o 1 až 2 °C.

**Při zkušební metodě A** podle ČSN 73 1326 se tělesa ponoří zkoušenou plochou obrácenou směrem dolů do rozmrazovací látky (3% roztok NaCl) v misce tak, aby hladina látky dosahovala do výšky 5 mm nad ponořenou (zkoušenou) plochu tělesa. Zkušební cyklus sestává ze zchlazení zkušební plochy tělesa na teplotu -15 °C a následného ohřevu na teplotu +20 °C pomocí teplosměnného média, kterým je zkušební roztok. Na obou úrovních se teplota udržuje po dobu 15 min. Jeden cyklus trvá cca 2 až 2,5 h. Hmotnost uvolněných částic (odpadu) se stanovuje po každých dvacetipěti cyklech a zkouška obvykle obsahuje sto cyklů.

**Při zkušební metodě C** podle ČSN 73 1326 se zkušební tělesa před zkouškou opatří vodotěsnými objímkami ohraničujícími zkušební plochu, do kterých se nalije rozmrazovací látka (3% roztok NaCl). Jeden zkušební cyklus trvá 6 h a definovány jsou dvě úrovně teploty vzduchu (teplosměnné médium): -18 °C po dobu 3 h a +5 °C po dobu 3 h. Vždy po dvacetipěti cyklech (6 + 1/4 dne) se stanovuje hmotnost uvolněných částic a zkouška obvykle obsahuje 75, 100, 125 cyklů a hmotnost uvolněných částic se sleduje po 25, 50, 75, 100, 125, 150 zmrazovacích cyklech.

**Při referenční metodě desek podle ČSN P CEN / TS 12 390-9 (Slabtest)** se používají zkušební tělesa ve tvaru krych-

lí o hraně 150 mm, z nichž se odříznou zkušební tělesa o tloušťce 50 mm tak, že zkušební plocha prochází středem krychle. Ve stáří vzorku 25 dnů se na povrch zkušební tělesa (s výjimkou zkušební plochy) nalepí pryžová páska a rohy se utěsní pomocí pryže či silikonového tmelu. Okraj pryžové vrstvy musí sahát 20 mm nad zkušební povrch. Ve stáří 28 dnů se na zkušební plochu nalije vrstva demineralizované vody o tloušťce 3 mm a teplotě +20 °C. Během následujících 72 h se demineralizovaná voda průběžně doplňuje tak, aby byla udržována konstantní výška její hladiny. Před zkoušením betonu se na všechny povrchy zkušební tělesa (s výjimkou zkušební plochy) připevní tepelná izolace, např. z pěnového polystyrénu tloušťky 20 mm. Vlastní zmrazovací zkouška začíná ve stáří zkušební tělesa 31 dnů. Nejprve je demineralizovaná voda nahrazena zkušební kapalinou (3% roztok NaCl pro zkoušku s rozmrazovacími solemi, nebo demineralizovaná voda pro zkoušku bez rozmrazovacích solí). Odpařování zkušební kapaliny se brání pomocí upevněné polyetylenové folie. Jeden zmrazovací cyklus trvá 24 h a teplota se při něm změní z cca +20 na cca -20 °C a zpět. Po 7, 14, 28, 42 a 56 zmrazovacích cyklech se provede kontrola povrchu zkušebních těles. Zachytí se materiál odloupený z povrchu a povrch se opláchne a omete. Následně je nalita nová zkušební kapalina a ve zkoušce se dále pokračuje. Výsledkem zkoušky je hmotnost odloupeného materiálu v kg/m<sup>2</sup> po jednotlivých etapách zkušebních cyklů. K provedení zkoušky je třeba klimatizační komora s relativně náročným systémem regulace teploty. Teplota se sleduje ve zkušební kapalině v objímce tělesa, ve středu zkušební plochy a její průběh při zmrazovacím cyklu musí odpovídat průběhu předepsanému v TS.

#### VÝSLEDKY ZKOUŠEK

Cílem projektu bylo stanovit především převodní vztah pro parametry odolnosti stanovené zkouškami mrazuvzdornosti betonu a zkouškami odolnosti betonu vůči působení mrazu a CHRL podle metod uvedených v ČSN, TS a EN.

Zatímco s metodami podle ČSN 73 1326 jsou více než třicetileté zkušenosti a používaná kritéria jsou dlouhodobě odzkoušena a verifikována i ověřením stavu hodnocených betonů in

situ po dlouhodobé expozici, v případě nových zkušebních metod dle TS a EN v této oblasti je jejich posouzení na základě pouhého studia textu normy prakticky nemožné.

Návrh projektu i jeho vlastní experimentální realizace vycházela z cíle ověřit vztah těchto zkušebních postupů na třech typech betonů s cílem případně prověřit, do jaké míry skladba betonů může výsledky jednotlivých zkoušek mrazuvzdornosti resp. odolnosti ovlivňovat. Experimenty zaměřené na porovnání jednotlivých metodik na vozokových betonech, resp. jemnozrnných betonech (maltách), byly prováděny na Kloknerově ústavu ČVUT, experimenty, vycházející z testování standardních konstrukčních betonů, pak byly prováděny na spoluřešitelském pracovišti, tedy na Vysokém učení technickém v Brně.

Nedílnou součástí projektu byla i organizace, zajištění a vyhodnocení mezilaboratorních zkoušek, které byly provedeny ve dvou etapách. Zjištěné výsledky tedy nevycházejí z poznatků získaných na jednom pracovišti, ale opírají se o výsledky a zkušenosti, které byly získány zcela nezávisle na pracovištích dvou řešitelů a v rámci mezilaboratorních zkoušek v dalších šesti laboratořích.

Z výsledků provedených zkoušek vyplývají následující závěry:

Při porovnávání zkušebních metod hodnotících mrazuvzdornost i při porovnání výsledků jednotlivých pracovišť (mezilaboratorní zkoušky) je optimální, aby testované betony nebyly mrazuvzdorné ve smyslu aktuálních požadavků, současně však, aby jejich odolnost vůči kombinovanému účinku mrazu a posypových solí nebyla velmi nízká. Pro porovnání zkušebních metod i pracovišť je optimální, aby se odpady podle ČSN 73 1326 pohybovaly v intervalu od 1 000 do 2 000 g/m<sup>2</sup>.

S ohledem na reprodukovatelnost výsledků je při těchto experimentech třeba pečovat o to, aby tělesa byla vyráběna z jedné šarže betonové směsi (např. jeden autodomíchávač), nebo pocházela z prokazatelně homogenního konstrukčního prvku. Homogenitu těles je možné ověřit mimo jiné kontrolou objemové hmotnosti, která by se neměla u jednotlivých těles lišit více než o ±2 % od průměru. Tělesa by měla být shodným způsobem ošetřována.

Při výrobě těles pro porovnávací testy

mrazuvzdornosti je třeba pečovat o to, aby použité hrubé kamenivo neobsahovalo nemrazuvzdorné složky, resp. zrna, která by (při výskytu na zkoušeném povrchu) mohla náhodným způsobem ovlivňovat dílčí výsledky.

Přes veškerou péči při přípravě, resp. výběru těles, je třeba počítat s tím, že mrazuvzdornost jako měřený parametr má vysoký rozptyl (variační koeficient), což je ovlivněno zejména tím, že přímo měřený parametr (odpad), zjišťovaný v gramech s přesností na 0,1 g, se při přepočtu na 1 m<sup>2</sup> násobí např. v případě krychle o hraně 150 mm koeficientem 44,4. Z toho vyplývá, že každá odchylka v přímo měřené hodnotě je významným způsobem zvětšena (více než o jeden řád).

Metody podle ČSN 73 1326 jsou dostatečně citlivé. Bylo by však vhodné doplnit kritéria pro vyhodnocování těchto zkoušek o požadavek na jednotné grafické zpracování výsledků a výpočet směrnice výsledné lomené čáry, která odráží dynamiku průběhu měřeného parametru. V případě, že směrnice v jednotlivých zkušebních etapách má narůstající tendenci (strmost), měla by norma obsahovat požadavek na zvětšení počtu cyklů (ze 75 na 100, resp. 125, resp. 150) tak, aby bylo při vyhodnocování možno jednoznačně rozhodnout, že měřený parametr (odpad), resp. jeho závislost na počtu cyklů, nemá exponenciální průběh (konkávní tvar křivky). Naopak v případě, že dochází ke zmenšování strmosti směrnice v jednotlivých zkušebních etapách (konvexní tvar křivky), bylo by možno tento doplňkový parametr při vyhodnocování výsledků mrazuvzdornosti použít jako další rozhodovací kritérium pro posouzení shody, pokud odpad po 75 cyklech náhodně přestoupí limitní úroveň 1000 g/m<sup>2</sup>.

Obě metody podle ČSN 73 1326 (A, C) poskytují srovnatelné hodnocení betonu. Nepotvrdila se větší „přísnost“ metody C. Naopak v řadě případů vyšší odpady vykazují postup metodou A, kdy se pravděpodobně uplatňuje tzv. hranový efekt, tedy odpad související s vyšší citlivostí hran zkušebních těles vůči mrazovému poškození.

Obě metody podle ČSN 73 1326 jsou dobře použitelné pro průkazní i kontrolní zkoušky, a to s ohledem na skutečnost, že výsledky jsou k dispozici do 10 až 18 dnů.

Metoda Slabtest je extrémně časově

náročná a pro kontrolní zkoušky obtížně použitelná (časová náročnost minimálně 28 dnů).

Metoda Slabtest vychází z testování řezné plochy na desce vyříznuté ze středu zkušebního tělesa. Metoda tedy není zaměřena na hodnocení povrchových vrstev, které jsou s ohledem na funkčnost a provozuschopnost dopravních a inženýrských staveb rozhodující.

U všech hodnocených materiálů metodou Slabtest byly zjištěny v průměru výrazně nižší odpady g/m<sup>2</sup> než u postupu podle ČSN 73 1326.

Poměr mezi výsledky zjištěnými metodou Slabtest a metodou A, resp. C podle ČSN 73 1326 nelze exaktně stanovit s ohledem na vysoký rozptyl výsledků.

Z provedených zkoušek vyplývá, že tento koeficient (12 390-9/ČSN 73 1326 – A) se pohybuje v intervalu od 0,1 do 0,5 a koeficient vyjadřující poměr výsledků mezi 12 390-9/ČSN 73 1326-C pak v intervalu od 0,3 do 0,7. U provzdušněných těles se tyto poměry pochopitelně výrazně mění, avšak jejich vypovídací schopnost s ohledem na jejich nižší absolutní hodnoty je malá.

Metoda Slabtest je orientačně třikrát finančně náročnější.

K provádění metody Slabtest je nezbytné výrazně finančně náročnější experimentální vybavení.

Z výše uvedených důvodů se nedoporučuje zavedení metody Slabtest v oblasti resortu dopravy, a to i s ohledem na podobná negativní zahraniční stanoviska. Je pravděpodobné, že metoda nebude jako definitivní Evropská norma zavedena.

#### MEZILABORATORNÍ ZKOUŠKY

Mezilaboratorní test zmrazovacích zkoušek byl organizován ve dvou krocích. V prvním kroku byly provedeny zkoušky referenční metodou Slabtest podle návrhu EN 12 390-9. Dále byl mezilaboratorní test doplněn o druhý krok, a to o zkoušky těles pomocí metod A a C podle ČSN 73 1326.

S žádostí o provedení zkoušek pomocí metody Slabtest bylo osloveno dvacet pět laboratoří, které provádí zmrazovací zkoušky betonu. Účast přislíbilo jedenáct laboratoří (mimo řešitele grantového projektu), kterým byla následně rozvezena zkušební tělesa. Výsledky zmrazovacích zkoušek metodou Slabtest dodalo šest laboratoří + řešitelé grantového projektu.

Pro metodu Slabtest obdržela každá laboratoř, která se zúčastnila mezilaboratorního testu, dvě zkušební tělesa z jemnozrného neprovzdušněného betonu a dvě zkušební tělesa z jemnozrného provzdušněného betonu. Spolu s tělesy byly předány plastové objímky a dřevěné boxy s tepelnou izolací, potřebné pro provedení zkoušek. Všichni účastníci provedli zkoušky v délce 28 cyklů.

Pro metodu A obdrželi účastníci mezilaboratorního testu šest zkušebních těles, trámečků 40 x 40 x 160 mm, vyrobených z jemnozrného neprovzdušněného betonu.

Pro zkušební metodu C obdrželi účastníci mezilaboratorního testu vždy dvě zkušební tělesa, válce o průměru 150 mm a výšce cca 50 mm.

#### SLABTEST (referenční metoda ČSN P CEN / TS 12 390-9)

Porovnávány byly hodnoty odpadů z povrchu zkušebního tělesa, zjištěné po 28 zkušebních cyklech. Do vyhodnocení je zahrnuto celkem osm zkušebních laboratoří. Výsledky pro každou laboratoř jsou průměrem ze dvou zkušebních těles. Vyhodnocení výsledků bylo prováděno tak, že vždy byl škrtnut nejmenší odpad a největší odpad a ze zbývajících výsledků byl vypočten průměr, směrodatná odchylka a variační koeficient.

Výsledky zmrazovacích zkoušek na jemnozrném neprovzdušněném betonu se pohybovaly ve velmi širokém rozmezí. Do vyhodnocení byly zahrnuty výsledky v rozmezí od 176 do 1 043 g/m<sup>2</sup>, nezahrnuta zůstala minimální hodnota 3 g/m<sup>2</sup> a maximální hodnota 2 478 g/m<sup>2</sup>. Průměrná hodnota (bez extrémů) byla 421 g/m<sup>2</sup>, směrodatná odchylka (bez extrémů) 304 g/m<sup>2</sup> a variační koeficient 72,2 %. Tyto výsledky lze popsat jako velmi různorodé, s velmi vysokým rozptylem hodnot zjištěných jednotlivými laboratořemi.

Do vyhodnocení výsledků těles z provzdušněného jemnozrného betonu byly zahrnuty hodnoty odpadů v rozmezí od 14 do 65 g/m<sup>2</sup>. Nezahrnuty zůstaly extrémní hodnoty 2 g/m<sup>2</sup> a 83 g/m<sup>2</sup>. Průměrná hodnota (bez extrémů) byla 32 g/m<sup>2</sup>, směrodatná odchylka (bez extrémů) 17 g/m<sup>2</sup> a variační koeficient 53 %.

Celkově lze výsledky zkoušek pomocí metody Slabtest popsat jako nejednotné,



Obr. 2 Porovnání výsledků mezi laboratořemi a metodami

Fig. 2 Comparison of results between laboratories and methods

s velmi vysokým rozptylem hodnot mezi jednotlivými laboratořemi. Tento rozptyl je s velkou pravděpodobností způsoben tím, že metoda Slabtest není standardně používanou metodou a laboratoře tuto zkoušku prováděly poprvé. Další z možných příčin je velká náročnost zkoušek na přípravu zkušebních těles a na vlastní provádění zkoušek. Nezanedbatelný vliv může mít rovněž typ zmrazovací komory.

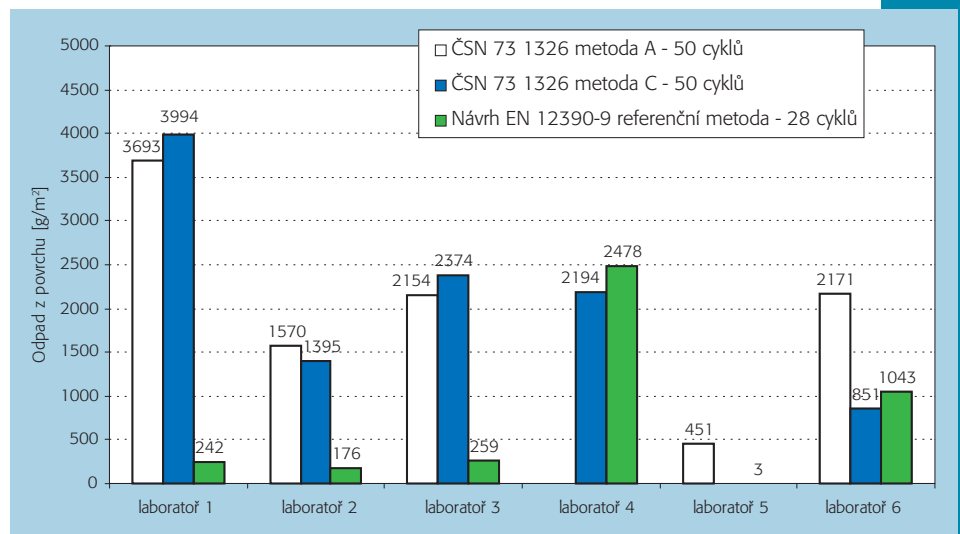
### Metoda A (dle ČSN 73 1326)

Pro vyhodnocení mezilaboratorního testu byly použity hodnoty odpadů po padesáti zmrazovacích cyklech metody A, protože po více zkušebních cyklech již u mnoha laboratoří došlo k rozpadu zkušebních těles. Zkoušky byly provedeny vždy na jemnozrnném neprovzdušněném betonu. Výsledky byly vyhodnoceny stejným způsobem jako v případě Slabtestu, tj. byly vyškrtuty minimální a maximální hodnoty a ze zbývajících vypočtena průměrná hodnota, směrodatná odchylka a variační koeficient. Do vyhodnocení byly zahrnuty odpady v rozmezí 1 570 až 2 171 g/m<sup>2</sup>. Nezahrnuty byly hodnoty 451 g/m<sup>2</sup> a 3 693 g/m<sup>2</sup>. Průměrná hodnota (bez extrémů) byla 1 939 g/m<sup>2</sup>, směrodatná odchylka (bez extrémů) 246 g/m<sup>2</sup> a variační koeficient 13 %.

Vyhodnocení výsledků zahrnuje celkem šest hodnot. Lze konstatovat, že čtyři hodnoty se nachází relativně blízko průměrné hodnoty, dvě hodnoty (minimum a maximum) se od průměru výrazně odlišují. Velmi nepříznivá je zejména minimální hodnota výsledků, která by vedla k hodnocení betonu jako spolehlivě mrazuvzdorného, zatímco na základě výsledků z ostatních laboratoří lze beton hodnotit jako prokazatelně nemrazuvzdorný. Jako kritérium se zde používá hodnota 1 000 g/m<sup>2</sup>. Metoda A je standardně používanou zkušební metodou a rozptyl hodnot pravděpodobně souvisí s intenzitou odstraňování odpadu z povrchu zkoušeného tělesa, případně s vlivem různé konstrukce zmrazovací komory.

### Metoda C (dle ČSN 73 1326)

Do vyhodnocení byly zahrnuty výsledky



po padesáti zmrazovacích cyklech, protože po více zmrazovacích cyklech již u mnoha laboratoří došlo k rozpadu zkušebních těles. Vyhodnocení bylo provedeno opět stejným způsobem jako u předchozích metod, a to tak, že byly škrtnuty minimum a maximum a ze zbývajících hodnot vypočtena průměrná hodnota, směrodatná odchylka a variační koeficient. Do vyhodnocení byly zahrnuty výsledky 851 až 2 529 g/m<sup>2</sup>, vynechány byly hodnoty 270 g/m<sup>2</sup> a 3 994 g/m<sup>2</sup>. Průměrná hodnota (bez extrémů) je 1 985 g/m<sup>2</sup>, směrodatná odchylka (bez extrémů) 665 g/m<sup>2</sup> a variační koeficient 34 %.

Výsledky, zjištěné pomocí metody C, lze hodnotit stejným způsobem jako v případě metody A, tedy že na základě výsledků zkoušek z některých laboratoří by tento beton byl hodnocen jako mrazuvzdorný, na základě výsledků jiných laboratoří jako zaručeně nemrazuvzdorný. Metoda C je rovněž dlouhodobě a běžně používaným zkušebním postupem a rozptýlení hodnot souvisí pravděpodobně s intenzitou oddělování odpadu od zkušebního tělesa při splachování odpadu do misky, případně s rozdílným použitým zkušebním zařízením.

### Vyhodnocení mezilaboratorního testu

Na základě výsledků obou etap mezilaboratorního testu lze konstatovat, že zkoušení odolnosti betonu je velice obtížné a i při použití jednotné zkušební metody může vést k různému hodnocení zkoušeného betonu. Výsledky zkoušek pomocí metod A a C vykazovaly menší variační koeficient než soubor výsledků metody Slabtest.

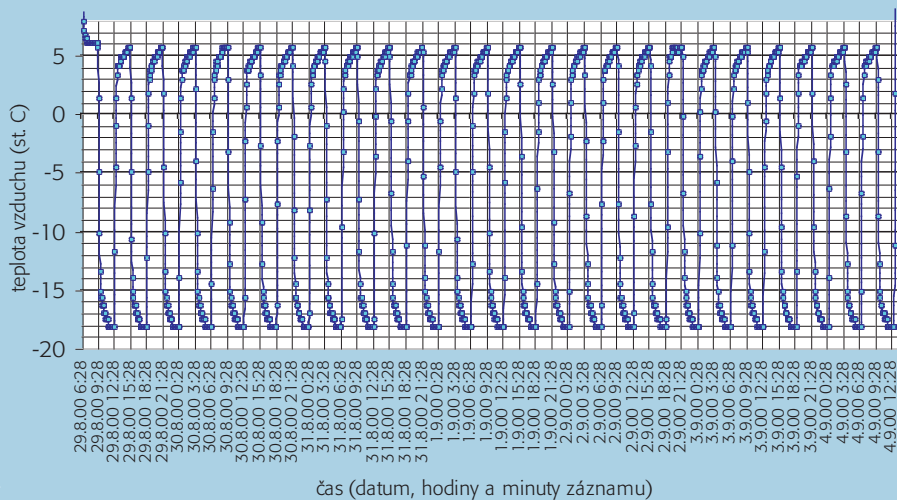
### CELKOVÉ ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Provedené zkoušky ukázaly, že mrazuvzdornost betonu je parametrem s mimořádnou variabilitou. Cestou ke snížení této variability však není neustálá inovace zkušebních metod, ale naopak využití metod, se kterými jsou dostatečně dlouhodobé zkušenosti za podmínky, že jsou precizně definovány všechny okrajové podmínky, které mohou výsledek zkoušky ovlivňovat. Při posuzování možných úprav zkušebních postupů je však třeba vzít v úvahu, že na rozptýlení výsledků se podílí jak vlastní heterogenní struktura betonu a příprava zkušebních těles, tak faktory, které souvisí s realizací zkušebního postupu.

Nepochybně platí, že čím jednodušší zkušební postup, tím bude vliv náhodné změny okrajových podmínek menší. Tyto aspekty dokládá i často diskutované porovnání postupu podle ČSN 73 1326, metoda A, resp. metoda C. Za slabinu metody A se zcela logicky považuje nekontrolované vzlinání testované kapaliny po bocích tělesa a tím zvýrazňování rozsahu plochy, která je zasažena degradací. U půdorysně hranatých těles navíc může k rozptýlení významně přispívat i tzv. hranový efekt, tj. oddělování větších objemů materiálu z hrany zkušebního vzorku. Přesto zkoušky a mezilaboratorní testy prokazují, že u obou zkušebních postupů je srovnatelně vysoká variabilita výsledků. Nepochybně tedy i u metody C podle ČSN 73 1326 existují faktory, které jsou proměnlivé a reprodukovatelnost nežádoucím způsobem ovlivňují [1].

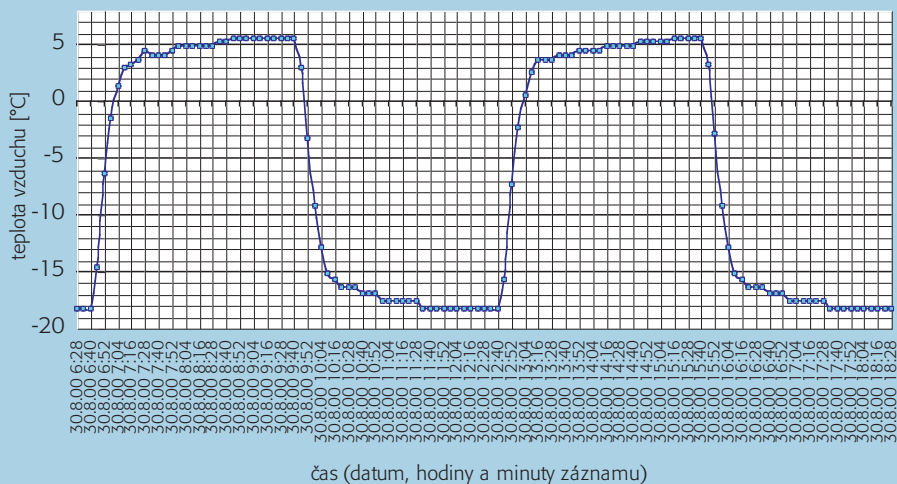
Výsledky jednoznačně prokázaly nevhodnost navržené metody podle EN 12390-9. Její citlivost je nízká a časová náročnost extrémní. Současně není

Teplota vzduchu v klimatizační skříni SB2 při 50% zaplnění betonovými tělesy, ČSN 731326 metoda C, teploměr RDT



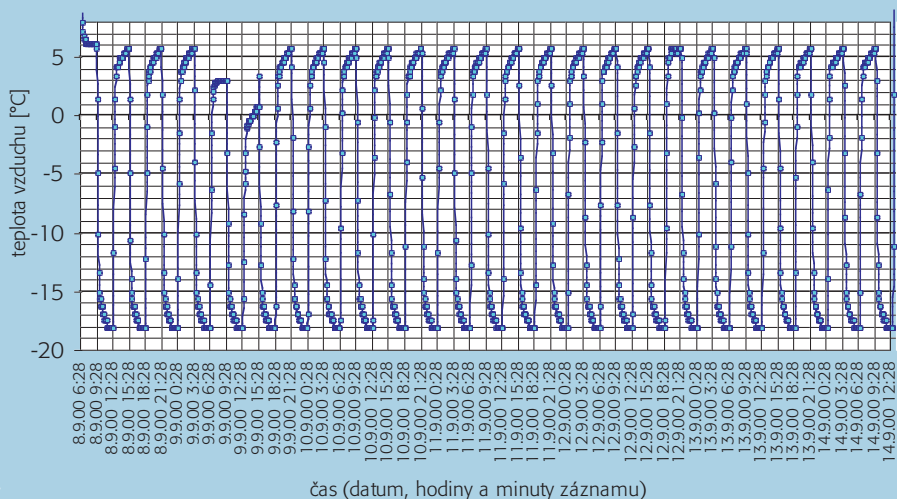
3

Teplota vzduchu v klimatizační skříni SB2 při 50% zaplnění betonovými tělesy, ČSN 731326 metoda C, teploměr RDT



4

Teplota vzduchu v klimatizační skříni SB2 při 50% zaplnění betonovými tělesy, ČSN 731326 metoda C, teploměr RDT



5

Obr. 3 Kontrolní záznam přídavného registračního teploměru v délce 25 cyklů, přehledný záznam pro kontrolu počtu cyklů, převzato z reálné zkoušky v [3]

Fig. 3 Inspection record of an additional registration thermometer in the length of 25 cycles, easy-to-orientate record for checking the number of cycles, taken from a real test in literature. [3].

Obr. 4 Kontrolní záznam přídavného registračního teploměru v délce 2 cyklů pro detailní kontrolu průběhu teploty, detail ze zkoušky na obr. 3

Fig. 4 Inspection record of the additional registration thermometer in the length of 2 cycles for the detailed inspection of the course of temperature, the details of the test are in fig. 3

Obr. 5 Kontrolní záznam přídavného registračního teploměru v délce 25 cyklů, přehledný záznam pro kontrolu počtu cyklů, ukázka projevu poruchy kontaktů stykače topného tělesa během 5. a 6. cyklu, která není jiným způsobem než kontrolou registračního záznamu zjištělná. V 6. cyklu zkušební tělesa nerozmrzla.

Fig. 5 Inspection record of the additional registration thermometer in the length of 25 cycles, easy-to-orientate record for the inspection of the number of cycles, example of the failure of the contacts of the contactor of the heating body during the 5th and 6th cycle, which cannot be ascertained in another manner than the inspection of the registration record. In the 6th cycle the testing bodies did not defrost.

Obr. 6 Ukázka zkoušené plochy po 25 cyklech met. C, kde příčinou vysokého odpadu je napěněná vrstva malty, převzato z [3]

Fig. 6 Example of the tested area after 25 cycles by met. C, where the reason for the high waste is the foamed layer of the plaster, taken from [3]

akceptovatelné, aby byla testována řezná plocha zkušebního tělesa. Ve většině inženýrských aplikací je podstatné, že mrazuvzdornost je vztahena k povrchovým vrstvám, tedy vrstvám, které zásadním způsobem ovlivňují jak funkčnost např. cementobetonové vozovky, tak poskytují ochranu zabudované výztuži. Z poznatků jednoznačně vyplývá doporučení, aby byla nadále používána ČSN 73 1326, se kterou jsou dostatečně dlouhodobé zkušební a existující kritéria jsou ověřena i stavem betonů vystavených dlouhodobému standardnímu využívání. Přesto je zřejmé, že ČSN 73 1326 je třeba revidovat s cílem zajistit zvýšení reprodukovatelnosti výsledků. Následující doporučení, která vznikla na základě analýzy zkušebních metod A a C, obsahují některé významnější faktory, jež výsledky zkoušek nepochybně ovlivňují a jejichž precizování by bylo účelné:

V případě zmrazovací komory by bylo vhodné předepsat nezávislou registraci teploty ve zmrazovacím prostoru, resp. teploty expozičního média a součas-

ně tuto teplotu ukládat a archivovat, a to zejména pro situace, kdy výsledky zkoušek jsou zpochybněny, případně se výrazně liší od zkoušek prováděných v jiné laboratoři anebo pro případ řešení následků poruchy chladicího agregátu. Tento požadavek při dnešním stavu techniky není jak co do technické, tak finanční náročnosti žádnou komplikací. Ostatně, Technické kvalitativní podmínky MD v kap. 18 (Beton pro konstrukce, 2005) v příloze P1, která definuje podmínky a rozsah **průkazních zkoušek** betonu pro stavby PK, tuto registraci teploty teplosměnného média v komoře záznamovým teploměrem požaduje, včetně dokladování průběhu teplot zkušebních cyklů ve zprávě. Na obr. 3 a 4 znázorněný průběh 25 cyklů zkoušky ukazuje, že pro dokumentaci teplot 75 cyklů zkoušky bude protokol o zkoušce obsahovat jednu stranu A4 navíc, což není žádná komplikace.

V případě metody A podle ČSN 73 1326 by bylo účelné zvážit, zda neomezit kontakt expozičního média s boky vzorků,

a to např. vhodným nátěrovým systémem, nebo obdobnou ochranou bočních stěn těles jako je tomu v případě metody Slabtest. Odpadly by přinejmenším diskuse, do jaké míry exponované boky zkušební tělesa, resp. vztlínání zkušební roztoku po bocích tělesa, výsledek zkoušky ovlivňuje. Metodika A dle ČSN 73 1326 sice na přepočítání zkušební plochy při odpadu z boků krychlí pamatuje, v praxi se však vyskytují různé verze tohoto přepočtu.

U obou metod je třeba se zabývat podrobně vlivem hmotnosti zkušební tělesa na výsledky zkoušek, neboť z tělesa s 5x větší hmotností bude doba odvedení akumulované tepelné energie výrazně delší, a tedy i teplota zkoušeného povrchu betonu setrvá na cílové hodnotě např. -18 °C po kratší dobu, o teplotě v jádře tělesa nemluvě.

U metody A je třeba přesně standardizovat velikost a materiál distančních podložek v mezeře mezi dnem misky a zkoušenou plochou, protože různé silná vrstva ledu má i odlišný tepelný odpor (led je



Literatura:

- [1] Veselý V., Smiřinský S.: Úskalí zkoušek odolnosti betonu vůči působení vody a chemických rozmrazovacích prostředků. Sborník příspěvků konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2007, s. 269–274
- [2] Lukš J. a kol.: Hodnocení odolnosti betonu s různými plastifikačními a provzdušňujícími přísadami. 6. konference technologie betonu 2007, s. 53–57
- [3] Archiv zkušební laboratoře ŘSD ČR

## RSTAB

Program pro výpočet rovinných i prostorových prutových konstrukcí

## RFEM

Program pro výpočet konstrukcí metodou konečných prvků

Demoverze zdarma ke stažení

**www.dlupal.cz**

- Řada přídatných modulů
- Rozsáhlá knihovna profilů
- Snadné intuitivní ovládání
- 6 500 zákazníků ve světě
- Nová verze v českém jazyce
- Zákaznické služby v Praze

**Ing. Software Dlubal**

Ing. Software Dlubal s.r.o.  
Anglická 28, 120 00 Praha 2  
Tel.: +420 222 518 568  
Fax: +420 222 519 218  
E-mail: info@dlupal.cz

Statika, která Vás bude bavit ...



dobry tepelný izolant). Zkušební roztok se při cílové teplotě -15 °C mění v led.

U těles vyráběných v laboratoři, resp. in situ, je v případě zkoušky mrazuvzdornosti třeba zpřesnit a sjednotit metodiku finalizace povrchu těchto těles, a to jednoznačným popisem postupu finalizace zkušební plochy a přesně definovat způsob uložení a ošetřování těles.

Nikoliv nevýznamným aspektem, který ovlivňuje reprodukovatelnost zkoušky, je i metodika splavování odpadlých částic po ukončené expozici do sběrné nádoby. I tento postup by bylo účelné přesněji definovat, případně předepsat použití ultrazvukové lázně, která by mohla umožnit eliminaci lidského faktoru při této operaci.

Nepochybně významným faktorem jsou parametry použité soli, resp. použité vody. I tento na první pohled detail by bylo účelné přesně definovat, protože právě koncentrace roztoku má pro výsledek zkoušky zásadní vliv. Obecně je prokázáno, že pokud je zkouška podle ČSN 73 1326 prováděna pouze s destilovanou vodou jako expozičním roztokem, jsou odpady přibližně na desetinové úrovni ve srovnání s expozičním roztokem, který je tvořen tříprocentním roztokem chloridu sodného. V průběhu teplotních cyklů v komoře je proměnná i vlhkost vzduchu, která u metody C může být příčinou různě intenzivního odpařování vody ze zkušební roztoku a tím i jeho proměnné koncentrace. I u metody A však z misek odpařená voda kondenzuje na jiných místech (stěnách komory) a mění tím koncentraci roztoku v miskách. V tomto směru je více dotazena metodika ČSN P CEN / TS 12 390-9, při které je hladina roztoku proti odparu chráněna fólií.

Detail, kterému je věnována malá pozornost, je i vliv dodržení výšky expozičního roztoku v průběhu zkoušky. Tuto výšku je třeba průběžně kontrolovat, případně ověřovat i reálnou koncentraci chloridových iontů v roztoku.

V případě metody C podle ČSN 73 1326 může mít značný význam i míra zaplnění testovací komory vzorky. Je zřejmé, že tepelná setrvačnost málo či plně zaplněné aparatury může mít na charakter zmrzovacích cyklů značný význam. Z tohoto pohledu vyplývá nutnost přesně specifikovat minimální tepelný výkon agregátů v komorách tak, aby požadovaný časový gradient teploty média vyhověl

požadavkům metody. Tato okolnost a případné neshody by však byly dobře postižitelné výše navrženou nezávislou kontrolou a dokladování záznamu teplot.

Nutným předpokladem správné laboratorní činnosti je i správně provedená teplotní kalibrace prostorových bodů ve vnitřním objemu komor, a to nejlépe kalibrační laboratoří registrovanou u ČMI.

Po zkušenostech s citlivostí metod A a C na neodolná zrna hrubého kameniva v betonu (malé množství měkkých zrn, zcela neodolných vlivu mrazu), ve zkušěné povrchové vrstvě, lze jen doporučit optický záznam stavu zkušěné plochy před a po zkušebních cyklech, nejlépe pomocí digitální fotografie, a přiložení záznamu k protokolu o zkoušce. Byť i jediné rozpadlé zrno velikosti 25 mm dokáže vytvořit dostatečně hluboký „kráter“, jehož odpad může výsledek zkoušky betonu zkreslit o desítky procent, přičemž ale požadavky norem na kamenivo pro beton mohou být s rezervou dodrženy. Takovéto zkoušky by měly být vyřazeny. Snadno lze také následně určit příčinu neshody, viz obr. 6.

Zásadní vliv na dosažené hodnoty reprodukovatelnosti mezilaboratorních porovnávacích zkoušek má kvalita výroby a ošetřování příslušných zkušebních těles pro tyto MPZ. Úplně spolehlivá metodika pro jejich výrobu se zcela vyloučenými nehomogenitami betonu dosud nebyla nalezena, metodiky výroby referenčních betonů pro zkoušky používané v systému EN pro tento účel vyhovující nejsou.

Při veškeré snaze však bude vždy variabilita výsledků značná a variační koeficient, který se u zkoušek pevnosti v tlaku pohybuje v případě laboratorně vyráběných těles v intervalu obvykle od 4 do 8 % a v případě těles odebíraných z konstrukce od 10 do 20 %, se bude pohybovat u zkoušek mrazuvzdornosti spíše v intervalu od 20 do 30 %. Z toho také vyplývá, že hodnotící kritérium tvořené striktně stanovenou úrovní odpadu po 75 zmrzovacích cyklech (obvykle 1 000 g/m<sup>2</sup>) nemusí být při hodnocení shody podle TKP 18 při rozhodcích ani kontrolních zkouškách zcela objektivní. Z funkčního hlediska je pro hodnocení významu neshod velmi podstatné, zda v průběhu jednotlivých etap zmrzovacích cyklů má průběh odpadu přibližně přímkový charakter, nebo jeho směrnice má tendenci se zmenšovat či naopak zvětšovat. Právě sledování tohoto parametru by umožni-

lo jednoznačně charakterizovat betony, u kterých nepatrná tenká povrchová vrstva např. v tl. cca. 0,5 mm (její ztráta znamená odpad 1 200 g/m<sup>2</sup>) není mrazuvzdorná, avšak vlastní beton v podpovrchových vrstvách má již vyhovující parametry. Naopak přímková závislost, resp. narůstající směrnice výsledné křivky signalizuje, že i v hlubších povrchových vrstvách není beton mrazuvzdorný a je ho tedy možné korektně odmítnout. Podobný efekt při hodnocení neshod kontrolních zkoušek má i metoda Ing. Krchova, navržená v roce 2001, spočívající v tom, že se hodnotí pouze odpad vzniklý mezi 25. a 75. cyklem, resp. mezi 25. a 113. cyklem u průkazní zkoušky.

V tomto ohledu by tedy bylo účelné, aby norma připouštěla zvětšení počtu cyklů zmrzovacích zkoušek na 100, 125, případně 150 cyklů tak, aby charakter závislosti odpadu na počtu cyklů mohl být jednoznačně potvrzen či vyvrácen. U některých betonových konstrukčních prvků však bude i nadále při posuzování shody podle TKP 18 hranice odpadu 1 000 g/m<sup>2</sup> nepřekročitelná.

Autoři příspěvků budou zavázáni všem odborníkům z oboru za věcné připomínky, námítky či náměty na metodické úpravy zkoušení mrazuvzdornosti.

*V příspěvku jsou prezentovány výsledky získané při řešení projektu č. 1F55F/015/120 podpořeného Ministerstvem dopravy. Autoři za tuto podporu Ministerstvu dopravy děkují.*

Doc. Ing. Jiří Dohnálek, ČSc.  
e-mail: dohnalek@sanacebetonu.cz

Ing. Petr Tůma, Ph.D.  
tuma@klok.cvut.cz

Ing. Jiří Kolisko, Ph.D.  
kolisko@klok.cvut.cz

všichni:  
Kloknerův ústav ČVUT  
Šolínova 7, 166 08 Praha 6

Doc. Ing. Rudolf Hela, ČSc.  
VUT Brno, Stavební fakulta  
Veveří 95, 602 00 Brno  
e-mail: hela.r@fce.vutbr.cz

Ing. Jan Hromádko  
ŘSD ČR Praha  
Na Pankráci 56, 140 00 Praha 4  
e-mail: jan.hromadko@rsd.cz