

NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠENÍ BETONU ODRAZOVÝMI TVRDOMĚRY V KONSTRUKCI PODLE EVROPSKÝCH NOREM A ČESKÝCH TECHNICKÝCH NOREM ■ NON-DESTRUCTIVE TESTING OF STRUCTURAL CONCRETE BY MEANS OF SCHMIDT IMPACT HAMMERS IN COMPLIANCE WITH EUROPEAN STANDARDS AND CZECH TECHNICAL STANDARDS

Jiří Brožovský

V článku je uvedena analýza praktické využitelnosti postupů zkoušení a vyhodnocení výsledků nedestruktivních zkoušek pevnosti betonu v tlaku v konstrukci s využitím odrazových tvrdoměů uvedených v evropských a národních (českých) technických normách. Vyhodnocení hodnot odrazu na zkušební ploše postupem dle ČSN EN 12504-2 se vyznačuje přípustnými odchylkami jednotlivých hodnot odrazu od průměrné hodnoty na zkušební místě, v rozmezí 15 až 25 %. To ve svém důsledku negativně ovlivní stanovené hodnoty pevnosti v tlaku betonu v konstrukci. Úprava povrchu betonu brusným kamenem dle ČSN EN 12504-2 je vhodná pro nově betonované konstrukce s hladkým povrchem, ale neumožní odstranit zkrabatonovanou vrstvu betonu, která se v různé míře vyskytuje na již existujících konstrukcích. Základní křivka uvedená v ČSN EN 13791 pro určení pevnosti betonu z hodnoty odrazu je sporná, protože nezohledňuje typ tvrdoměru a vliv polohy tvrdoměru při zkoušení řeší nedostatečně. Křivka pro hodnoty odrazu 20 až 24 neodpovídá realitě. V ČSN EN 13791 se připouští použití i jiných vhodně stanovených vztahů a základních křivek. Je smysluplné používat obecné kalibrační vztahy pro jednotlivé typy tvrdoměů uvedené v ČSN 73 1373, včetně zohlednění směru zkoušení. Přínosem ČSN EN 13791 je uvedení postupů pro vyhodnocení a odhad pevnostní třídy betonů ze zkoušek válcových těles upravených z vývrtů odebraných z konstrukce. ■ This paper analyzes practical usability of testing/evaluation of non-destructive test results of structural concrete and Schmidt impact hammers as mentioned in European standards and local (Czech) technical standards. Evaluation of test results on the test surface as described in CSN EN 12504-2 features comparatively high allowed variations (between 15 % and 25 %) from particular rebound values from the mean value on the given test point. As a result, it negatively affects the stated compressive strength of structural concrete. Test surface treatment by means of grindstone, as consistent to CSN EN 12504-2, is especially suitable for newly cast constructions featuring smooth surface nevertheless, it prevents from the removal of the carbonized layer of concrete that typically occurs in varying degrees on existing structures. The basic curve – as displayed in CSN EN 13791 for assessment of concrete strength based on the rebound value – is very disputable because it does not take into account Schmidt impact hammer type i.e. different impact energy and, what is more, the impact hammer direction during testing is considered insufficiently. The curve related to the rebound values between 20 and 24 does not correspond to facts. Since CSN EN 13791 admits other appropriately defined correlation and basic curves, the use of general calibration correlation for particular Schmidt impact hammer types as mentioned in CSN 73 1373, including consideration of the impact hammer testing direction, is unambiguously meaningful. The indisputability of CSN EN 13791 consists in the fact that it describes procedures covering assessment of concrete strength classes based on the structure core sampling.

Různé technické normativy včetně technických norem mají v České republice velkou tradici vycházející z technické normalizace dřívějšího Československa. Tuzemská normalizace byla vždy na velmi dobré úrovni při srovnání se zahraničními či mezinárodními normami.

V posledním období procházejí technické normy v České republice značnou obměnou, původní české technické normy jsou nahrazovány převzatými normami evropskými. Tato obměna se nevyhnula ani oblasti zkoušení betonů, včetně nedestruktivního zkoušení. Bohužel, některé evropské normy mají daleko k dokonalosti a mnohé původní české technické normy byly podstatně kvalitnější a srozumitelnější.

Ve stavební praxi jsou nejčastěji pro nedestruktivní zkoušení betonu využívány Schmidty tvrdoměry „Original“ (tj. pružinové s přímým odečítáním hodnoty odrazu na přímkové stupnici) typu N, v menší míře i typu L. Uvedené typy Schmidty tvrdoměů se liší energií rázu, u typu N je energie rázu 2,207 Nm a u typu L je energie rázu 0,735 Nm, podle údajů výrobce jsou určeny pro zkoušení pevnosti betonu v tlaku v rozmezí 10 až 70 MPa.

Odrazový tvrdoměr typu N je vyráběn i jinými výrobci a je dodáván pod různými komerčními označeními (např. Elcometer atd.), ale má obdobné technické parametry jako tvrdoměr systému Schmidt.

Nedestruktivní zkoušení odrazovými tvrdoměry je využíváno pro zjišťování pevnosti betonu při stavebně-technických průzkumech či prokazování kvality betonu zabudovaného v konstrukci, ale také pro operativní zjištění pevnosti betonu v konstrukci např. před odbedněním. Jestliže v prvních příkladech je třeba stanovit upřesněnou pevnost betonu, tj. provádí se upřesnění výsledků nedestruktivních zkoušek s pomocí destruktivních zkoušek pevnosti zjišťované na omezeném počtu jádrových vývrtů, pak v druhém případě jsou postačující pevnosti betonu z výsledků nedestruktivních zkoušek.

V článku je provedena analýza postupů pro určení pevnosti betonu v tlaku dle evropských a národních norem se zaměřením na využití odrazového tvrdoměru systému Schmidt „Original“ typu N.

NORMY PRO ZKOUŠENÍ PEVNOSTI BETONU V KONSTRUKCI ODRAZOVÝMI TVRDOMĚRY

V současné době pro zkoušení pevnosti betonu v konstrukci existuje souběh evropských a národních norem.

Do systému českých technických norem pro zkoušení betonu v konstrukcích tvrdoměrnými metodami jsou zahrnuty tyto evropské normy:

- ČSN EN 12504-1: 2009 „Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrtvy – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku“
 - ČSN EN 12504-2: 2002 „Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem“
 - ČSN EN 13791: 2007 „Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích“
- Současně s uvedenými evropskými normami zahrnuje systém českých technických norem i národní technické normy, konkrétně jsou to:
- ČSN 73 1370: 1982 „Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení“ (určená ve smyslu NV 163/2002 Sb.)

- ČSN 73 1373: 1983 „Tvrdoměrné metody zkoušení betonu“ (určená ve smyslu NV 163/2002 Sb.)
- ČSN 73 2011: 1988 „Nedeštruktivně skúšanie betónových konštrukcií“ (určená ve smyslu NV 163/2002 Sb.).

VYBRANÉ POŽADAVKY NOREM PŘI ZKOUŠENÍ ODRAZOVÝM TVRDOMĚREM

Požadavky na tvrdoměry a podmínky zkoušení

V předmluvě ČSN EN 12504-2 je uvedeno, že podkladem pro normu bylo používání přístroje typu N, který původně navrhl pan Schmidt.

V předmětě normy se uvádí postup pro stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem na povrchu ztvrdlého betonu pomocí ocelového beranu vymrštěného pružinou, a že tvrdost stanovená touto metodou se využívá k posouzení stejnoměrnosti uloženého betonu. Metoda není zamýšlena ke stanovení pevnosti betonu v tlaku, ale při vhodné korelaci může být použita pro její odhad.

V čl. 4.1. této normy je odrazový tvrdoměr definován jako: „*Odrazový tvrdoměr, sestávající z ocelového beranu s pružinou, která po uvolnění vymršťuje ocelový razník proti povrchu betonu. Velikost odrazu ocelového beranu od ocelového razníku se zjišťuje na přímkové stupnici, která je připojena k zařízení.*“ A v poznámce se uvádí: „*Na trhu je několik typů a velikostí odrazových tvrdoměrů pro zkoušení různých pevnostních tříd a druhů betonu. Každý typ a velikost tvrdoměru se má používat pouze pro pevnostní třídy a druhy betonu, pro které je určen.*“

Dle čl. 5.1. musí být minimální tloušťka betonových prvků 100 mm a musí být spojeny s konstrukcí, menší zkušební tělesa mohou být zkoušena za předpokladu, že jsou pevně podepřena. Při výběru zkušebních ploch se musí vzít v úvahu druh a pevnost betonu, druh a vlhkost povrchu, posun betonu při zkoušce a směr zkoušky.

Minimální počet měření odrazu na zkušební ploše je devět. Výsledkem zkoušky je střední hodnota ze všech čtení, zohledňuje se poloha tvrdoměru podle pokynů výrobce.

Podle ČSN 73 1373 lze pro zkoušení používat tři typy Schmidtova tvrdoměru, konkrétně typ N, L a M. Jsou zde specifikovány i podmínky použití.

Požadavky na výběr a úpravy zkušební plochy jsou uvedeny v čl. 5. Zkušební plocha, konkrétně:

- Schmidův tvrdoměr typu N – nejmenší tloušťka vrstvy betonu 100 mm, zkoušená krychelná pevnost betonu v rozmezí 17 až 60 MPa,
- Schmidův tvrdoměr typu L – nejmenší tloušťka vrstvy betonu 60 mm, zkoušená krychelná pevnost betonu v rozmezí 15 až 50 MPa,
- Schmidův tvrdoměr typu M – nejmenší tloušťka vrstvy betonu 200 mm, zkoušená krychelná pevnost betonu v rozmezí 25 až 60 MPa.

Pro uvedené tvrdoměry je v normě specifikována i vlhkost zkoušeného betonu:

- **beton suchý** – tj. beton s obsahem vlhkosti do 0,3 % podle hm.;
- **beton přirozeně vlhký** – beton s obsahem vlhkosti zpravidla od 0,5 do 2,5 % hm. – za takový se považuje beton uložený nejméně čtyři dny v ovzduší s teplotou $\geq +15$ °C a s relativní vlhkostí > 50 a ≤ 65 % – běžné případy použití tvrdoměrů;
- **vlhký beton** – beton s vlhkostí zpravidla $> 2,5$ a ≤ 5 % hm. – za takový se považuje beton uložený nejméně čtyři dny

v ovzduší s relativní vlhkostí > 90 % – běžné případy použití tvrdoměrů.

- Norma definuje ještě **beton nasycený vodou** (s obsahem vlhkosti zpravidla > 5 %) – tento beton by neměl být Schmidovým tvrdoměrem zkoušen.

Pro výběr zkušebního místa platí čl. 31 a 44 této normy: „*Beton se zkouší na vybraných a upravených zkušebních místech, která se volí tak, aby svým rozložením a počtem reprezentovala zkoušenou plochu betonu. Zkušební místa se pokud možno nevolí nad probíhající ocelovou výztuží. V nezbytném případě mohou však být umístěna nad výztuží dostatečně krytou betonem tak, aby jí nebyl ovlivněn výsledek zkoušky. Zkušební místa se volí na povrchu betonu podle zásad čl. 31 tam, kde je beton stejnoměrný, bez štěrkových míst, vlhký, přirozeně vlhký, nebo suchý. Zvolená místa musí být tak velká, aby se na nich dal provést potřebný počet úderů tak, aby po vyloučení nevhodných měření zůstalo nejméně pět platných měření.*“ Zpravidla se doporučuje na zkušebním místě provést deset měřených odrazů.

Příprava zkušební plochy pro zkoušení odrazovým tvrdoměrem

Podle EN 12504-2 se zkušební plocha obrousí brusným kamenem až je hladká. Hladké povrchy se mohou zkoušet bez obroušení. Musí se odstranit jakákoliv voda, která je na povrchu betonu.

Dle ČSN 73 1373 se zkušební plocha zbaví zkarbonatované vrstvy betonu a vybrousí se zasucha tak, aby byla patrná struktura betonu. (Betony s krychelnou pevností nad 40 MPa lze zkoušet i na neobroušeném povrchu, je-li hladký a tvrdý, a jestliže bylo prokázáno porovnávací zkouškou na obroušeném a neobroušeném místě, že hodnoty odrazu jsou prakticky stejné.)

Autor prováděl porovnání hodnoty odrazu ze zkušební Schmidovým tvrdoměrem typu N na povrchu betonu obroušeném brusným kamenem (postup dle ČSN EN 12504-2) a bruskou s diamantovým kotoučem (úprava povrchu dle ČSN 73 1373) na betonech pevnostní třídy C20/25 a C25/30. Zkouškami bylo zjištěno, že v průměru se hodnota zjištěná na zkušební ploše upravené postupem dle ČSN EN 12504-2 liší o 2,2 jednotek odrazu ve srovnání se zkušební plochou upravenou dle ČSN 73 1373. Variační koeficient hodnot odrazu zjištěných na zkušební ploše upravené postupem dle ČSN EN 12504-2 byl vyšší o 12,1 % ve srovnání s úpravou dle ČSN 73 1373, který byl 6,2 %.

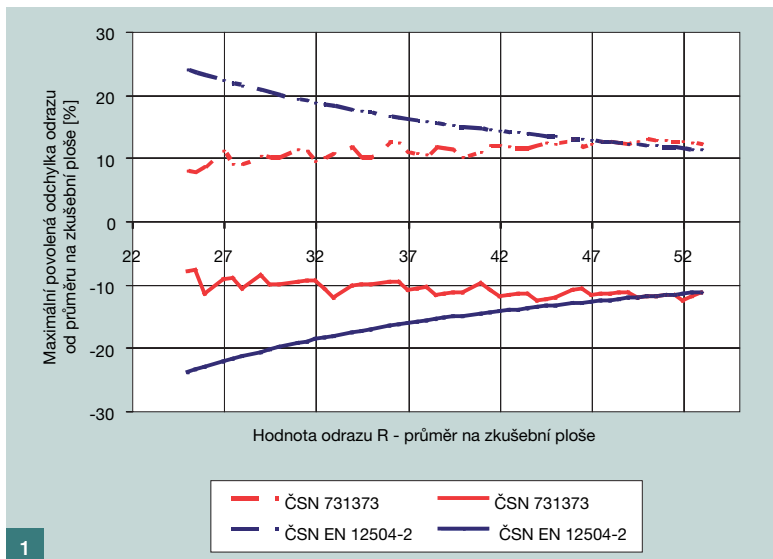
Z uvedeného vyplývá, že úprava zkušebních ploch dle ČSN EN 12504-2 je sice jednodušší, ale není optimální.

Vyhodnocení výsledků zkoušení

Podle ČSN EN 12504-2 je výsledkem zkoušky střední hodnota ze všech čtení, která se vyjádří jako celé číslo a jestliže se více než 20 % všech hodnot odrazu liší od střední hodnoty o více než šest jednotek, pak celá sada čtení musí být zamítnuta.

Podle ČSN 73 1373 musí být na zkušebním místě minimálně pět platných měření. Každé hodnotě odrazu se přiřadí dle tabulky nebo kalibračního vztahu hodnota pevnosti s nezaručenou přesností (zohledňuje se poloha tvrdoměru) a vypočítá se průměrná hodnota pevnosti. Hodnoty lišící se o více jak ± 20 % se vyloučí a ze zbývajících pěti platných hodnot se vypočítá průměr. Hodnota pevnosti na zkušebním místě se zaokrouhlí na celé číslo.

Pro ilustraci je provedeno porovnání rozptýlů hodnot od-



Obr. 1 Porovnání povolených maximálních odchylek hodnot odrazu na zkušební místě vyhodnocených podle ČSN EN 12504-2 a ČSN 731373 ■ Fig. 1 Confrontation of allowed maximum variations of rebound values on given test point as evaluated by ČSN EN 12504-2 and ČSN 73 1373 respectively

razu Schmidta tvrdoměru typu N (vodorovná poloha při zkoušení), vyhodnocených postupem dle ČSN EN 12504-2 a postupem dle ČSN 73 1373 – v případě rozptylů hodnot odrazu byly vypočítány zpětně z maximálního rozptylu pevností, který je $\pm 20\%$. Graficky je porovnání pro Schmidtův tvrdoměr typu N znázorněno na obr. 1.

Z provedeného porovnání povolených rozptylů hodnot odrazu při vyhodnocení výše uvedenými postupy vyplývá, že při postupu dle ČSN EN 12504-2, zejména v intervalu hodnoty odrazu 25 až 45, mohou odlehlé hodnoty odrazu na zkušební místě ležet v intervalu od ± 24 a do $\pm 15\%$. Pro uvedený interval jsou meze pro odlehlé hodnoty 8 až 11 %. Teprve od průměrné hodnoty odrazu 45 na zkušební místě jsou meze pro odlehlé hodnoty odrazu srovnatelné.

Z praktického hlediska to znamená, že při nižších průměrných hodnotách odrazu na zkušební místě se v hodnoceném souboru mohou vyskytovat v podstatě i chybná měření v důsledku anomálií v betonu.

VZTAHY PRO ZJIŠŤOVÁNÍ PEVNOSTÍ BETONU V TLAKU Z HODNOTY ODRAZU TVRDOMĚRU

Kalibrační vztahy z ČSN 73 1373

Obecné kalibrační vztahy uvedené v ČSN 73 1373 „platí pro zkoušení obyčejného hutného betonu, zhotoveného z běžně používaného hutného kameniva s objemovou hmotností *z* větší než $2\,500\text{ kg/m}^3$ a z portlandského cementu nebo cementu s portlandskou bází, který nebyl vystaven mimořádným vlivům prostředí. Tyto vztahy platí pro betony vlhké a přirozeně vlhké a pro stáří 14 až 56 dnů“. Nejsou platné pro betony z kameniva a cementů neobvyklých vlastností, betony zhotovené injektáží či oddělenou betonáží a pro nezhotvené a mezerovité betony. Norma zakazuje stanovení pevnosti betonu s nezaručenou přesností dle uvedených kalibračních vztahů pro proteplované, vodou nasycené a zkrabatonované resp. zkorodované betony.

Norma ČSN 73 1373 neuvádí přímo kalibrační vztahy mezi hodnotou odrazu tvrdoměru a krychelnou pevností betonu. Hodnoty pevností odpovídající hodnotám odrazu pro různé polohy tvrdoměru jsou uvedeny v tabulkách; je rozlišováno pět poloh tvrdoměru (základní vodorovná, svisle dolů a nahoru, šikmo pod úhlem 45° dolů a nahoru). Pro Schmidtův tvrdoměr byly tabulkové hodnoty zpracovány s využitím matematické statistiky do kalibračních vztahů (1 až 5):

- směr zkoušení: vodorovně

$$f_{ce} = 0,0095 R^2 + 1,0046 R - 14,988 \quad 25 \leq R \leq 52, \quad (1)$$

- směr zkoušení: svisle dolů

$$f_{ce} = 0,0073 R^2 + 1,1682 R - 12,964 \quad 24 \leq R \leq 50, \quad (2)$$

- směr zkoušení: svisle nahoru

$$f_{ce} = 0,0081 R^2 + 1,1346 R - 24,717 \quad 28 \leq R \leq 55, \quad (3)$$

- směr zkoušení: šikmo dolů

$$f_{ce} = 0,0076 R^2 + 1,166 R - 14,626 \quad 24 \leq R \leq 50, \quad (4)$$

- směr zkoušení: šikmo nahoru

$$f_{ce} = 0,0109 R^2 + 0,93546 R - 19,136 \quad 28 \leq R \leq 54. \quad (5)$$

Základní křivky z ČSN EN 13791

Nejdříve je třeba uvést některá fakta související se zkoušením pevnosti betonu v konstrukci s využitím nedestruktivní metody, konkrétně odrazového tvrdoměru, podle této normy.

- Norma popisuje postup stanovení charakteristické pevnosti betonu v tlaku v konstrukci a z tohoto důvodu je nezbytné provádět upřesnění výsledků nedestruktivních zkoušek po kalibraci se zkouškami vývrtů, tudíž – neřeší případy operativního či informativního zjištění pevnosti betonu založené pouze na výsledcích nedestruktivních zkoušek.

- Odkazuje se na zkušební zařízení, postupy a vyjádření výsledků uvedené v ČSN EN 12504-1 – odběr a zkoušení vývrtů, ČSN EN 12504-2 – zkoušení odrazovým tvrdoměrem, které připouští zkoušení různými typy tvrdoměrů, tj. tvrdoměry lišícími se rázovou energií.

- Uvádí jako jeden z možných postupů upřesnění výsledků zkoušek pevnosti betonu s využitím základní křivky vyjadřující vztah mezi pevností betonu v tlaku a parametrem ze zkoušky tvrdosti odrazovým tvrdoměrem s využitím tzv. posunu základní křivky.

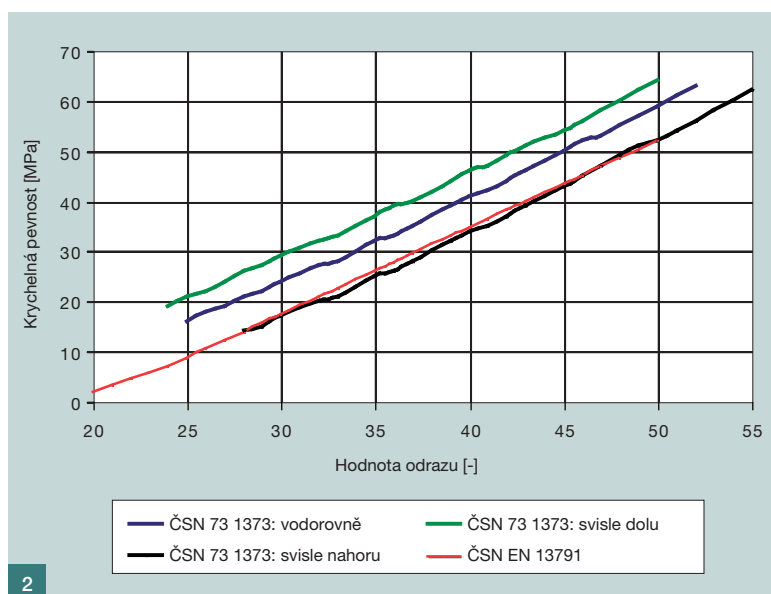
Základní křivka ČSN EN 13791 je vyjádřena dvěma vztahy (6) a (7) pro výpočet pevnosti betonu f_R z hodnoty odrazu tvrdoměru R :

$$f_R = 1,25 R - 23 \quad 20 \leq R \leq 24, \quad (6)$$

$$f_R = 1,73 R - 34,5 \quad 24 \leq R \leq 50, \quad (7)$$

kde f_R je počáteční hodnota pevnosti v tlaku v konstrukci získaná ze základní křivky pro tvrdost odrazovým tvrdoměrem

Obr. 2 Porovnání základní křivky z ČSN EN 13791 s křivkami z ČSN 73 1373 pro Schmidtův tvrdoměr typu N a pro různý směr zkoušení ■ Fig. 2 Comparison of basic curve of CSN EN 13791 to curves of CSN 73 1373 for Schmidt impact hammer type N and various test directions



a R výsledek zkoušky tvrdosti odrazovým tvrdoměrem (hodnoty odrazu).

Dle této normy jsou uvedené vztahy použitelné pouze v případě, kdy je prováděno upřesnění/kalibrace výsledků nedestruktivních zkoušek pomocí destruktivních zkoušek na odebraných jádrových vývrtech. A platnost takto upřesněné křivky je limitována zjištěnými hodnotami tvrdosti – hodnoty tvrdosti mohou být ± 2 jednotky tvrdosti mimo rozsah, pro který byla základní křivka upřesněna.

Pro uvedenou základní křivku není specifikováno, jaká je určená pevnost, zda krychelná či válcová, a pro jaký typ tvrdoměru je určena. Norma pro zkoušení ČSN EN 12504-2 uvádí, že lze použít odrazové tvrdoměry různých výrobců a typů, ale pouze pro pevnostní třídy a druhy betonu, pro které je určen. Výrobce Schmidtova tvrdoměru (firma Proceq), ale i ostatní výrobci, kteří nejčastěji vyrábí odrazový tvrdoměr odpovídající typu N, uvádí jako minimální zjišťovanou hodnotu pevnosti 10 MPa, v ČSN 73 1373 se uvádí, že se Schmidtovými tvrdoměry zkouší pevnost betonu od 15/17 MPa.

Pro ilustraci je v obr. 2 uvedeno grafické porovnání obecných kalibračních vztahů pro Schmidtův tvrdoměr typu N a směr zkoušení vodorovně, svisle dolů a svisle nahoru se základní křivkou uvedenou v ČSN EN 13791.

Z obr. 2 je zřejmé, že základní křivka uvedená v ČSN EN 13791 z nepochopitelného důvodu kopíruje kalibrační vztah pro tvrdoměr typu N při směru zkoušení svisle nahoru a současně uvádí nesmyslné hodnoty pevnosti pro hodnotu odrazu zejména v počátečním intervalu hodnot odrazu 20 až 25. Je zarážející, že uvedená základní křivka předpokládá pro možnost zkoušení odrazovým tvrdoměrem beton o pevnosti v tlaku 2 MPa.

Základní křivka také neuvažuje se zkoušením betonu, u kterého jsou hodnoty odrazu vyšší než 50. Není zohledněna skutečnost, že se v současné době již vyrábí betony s vyššími pevnostmi, než pro které platí uvedený kalibrační vztah. Dále je opomíjena skutečnost, že při zkoušení „starých betonů“ jsou hodnoty odrazu podstatně vyšší a neodpovídají skutečným pevnostem betonu, i když v postupovém diagramu normy je s variantou zkoušení „starých“ konstrukcí uvažováno.

Problematické je i zohlednění vlivu polohy tvrdoměru při zkoušení – v ČSN EN 12504-2 je pouze vágní odkaz, že při případné úpravě výsledků zkoušek se bere v úvahu směr pů-

sobení tvrdoměru podle pokynů výrobce. Vystává otázka, zda ve všech manuálech k pružinovým tvrdoměrům s přímým odečítáním na přímkové stupnici jsou údaje pro korekci hodnot odrazu v závislosti na směru zkoušení. Řada výrobců dodává tabulkové hodnoty pro hodnotu odrazu a pevnost v tlaku v závislosti na poloze tvrdoměru při zkoušení.

V normě se též uvádí, že lze použít i jiné vhodně stanovené vztahy a základní křivky. Je otázkou, proč tedy v normě nebyly využity kalibrační vztahy od některého z výrobců tvrdoměrů, které jsou ověřeny dlouholetou praxí, a je uvedena pouze nepříliš vhodná základní křivka.

Na obr. 3 je uvedeno porovnání obecných kalibračních pro Schmidtův tvrdoměr typu L se základní křivkou z ČSN EN 13791.

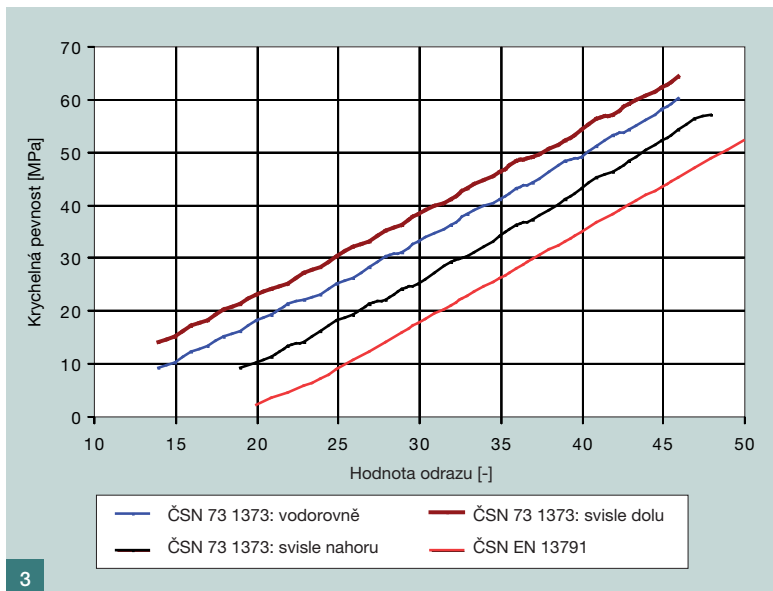
Z uvedeného porovnání vyplývá, že při zkoušení Schmidtovým tvrdoměrem typu L jsou hodnoty pevnosti v tlaku betonu určené ze základní křivky (6, 7) podstatně nižší, než při použití obecných kalibračních vztahů z ČSN 73 1373.

V ČSN EN 13791 není zohledněna skutečnost, že se používají odrazové tvrdoměry s různou energií rázu, jejich použití závisí od minimální tloušťky konstrukce. Tvrdoměr s energií rázu 2,207 Nm se doporučuje používat pro konstrukce s minimální tloušťkou 100 mm, tvrdoměr s energií rázu 0,735 Nm se doporučuje používat pro konstrukce s minimální tloušťkou 60 mm, tj. pro tenkostěnné konstrukce.

Křivky uvedené v EN 13791 jsou pro hodnoty odrazu v intervalu 20 až 50. Zejména u starých betonů (stáří 20 a více let) jsou dosahovány hodnoty odrazu vyšší než 50, i když skutečná pevnost betonu je o cca 30 až 50 % nižší než hodnota pevnosti betonu v tlaku vypočítaná z kalibračního vztahu. Tak výrazné nadhodnocení pevnosti betonu je ovlivňováno řadou faktorů. Zkarbonatovaná povrchová vrstva betonu do takové míry, že ji nelze odstranit s rozumným úsilím ani broušením diamantovým kotoučem, brusný kámen doporučený v ČSN EN 12504-2 je v tomto případě zcela neúčinným nástrojem. Dalšími faktory jsou hutnost betonu, obsah a velikost zrn kameniva (v železobetonové desce stropních konstrukcí z 30. let minulého století o tloušťce 60 mm byla i zrna kameniva v rozmezí 30 až 60 mm), vyztužení konstrukce.

ZÁVĚR

Na základě provedené analýzy zkušebních postupů pro nedestruktivní zkoušení betonu v konstrukci a kalibračních



Obr. 3 Porovnání základní křivky z ČSN EN 13791 s obecnými kalibračními vztahy z ČSN 73 1373 pro různou polohu Schmidta tvrdoměru typu L
 Fig. 3 Comparison of basic curve of CSN EN 13791 to general calibration correlation of CSN 73 1373 for various directions of Schmidt impact hammer type L

vztahů pro určení pevnosti betonu z parametru nedestruktivního zkoušení uvedených v ČSN EN 13791 a českých technických normách lze konstatovat:

- Vyhodnocení hodnot odrazu na zkušební ploše postupem dle ČSN EN 12504-2 se vyznačuje poměrně vysokými přípustnými odchylkami jednotlivých hodnot odrazu od průměrné hodnoty na zkušebním místě, které se pro hodnoty odrazu od 20 do 45 pohybují v rozmezí 15 až 25 % (při zkoušení dle ČSN 73 1373 vychází tyto maximální odchylky jednotlivých hodnot odrazu v rozmezí 8 až 11 % pro Schmidta tvrdoměr typu N). To ve svém důsledku negativně ovlivní stanovené hodnoty pevnosti betonu v tlaku v konstrukci. Z tohoto důvodu je vhodnější při zpracování výsledků nedestruktivních zkoušek postupovat dle ustanovené ČSN 73 1373. Tj. ke každé hodnotě odrazu na zkušebním místě přiřadit odpovídající pevnost betonu s nezaručenou přesností, vypočítat průměrnou pevnost na zkušebním místě, vyloučit odlehle hodnoty pevnosti (ty které se liší o více jak ± 20 % od průměrné pevnosti na zkušebním místě), a v případě, že zůstalo pro zkušební místo nejméně pět platných hodnot, vypočítat znovu průměrnou pevnost na zkušebním místě.
- Úprava povrchu betonu brusným kamenem dle ČSN EN 12504-2 je vhodná pouze u nově betonovaných konstrukcí s hladkým povrchem, ale neumožní odstranit zkrabčovanou vrstvu betonu, která se vyskytuje na již existujících konstrukcích, které byly vystaveny působení vlhkosti a vzdušného CO_2 .
- Základní křivka uvedená v ČSN EN 13791 pro určení pevnosti betonu z hodnoty odrazu je velice sporná. Nezohledňuje typ tvrdoměru (různou energii rázu), a tím i odlišné hodnoty pevnosti při stejné hodnotě odrazu. Zohlednění polohy tvrdoměru při zkoušení je řešeno pro pružinové tvrdoměry s přímkovou stupnicí nedostatečně a vágně. Část křivky vyjádřená vztahem (6) neodpovídá realitě. Zjistit tak nízké pevnosti betonu Schmidta tvrdoměrem typu N ale i L je prakticky nemožné.
- Vzhledem k tomu, že v ČSN EN 13791 se připouští použití i jiných vhodně stanovených vztahů a základních křivek, je jednoznačně smysluplné používat obecné kalibrační vztahy pro jednotlivé typy tvrdoměrů uvedené v ČSN 73 1373, včetně zohlednění směru zkoušení.
- Za přínos ČSN EN 13791 lze jednoznačně považovat to, že obsahuje ustanovení zabývající se vyhodnocením a odhadem

pevnostní třídy betonů ze zkoušek válcových těles upravených z vývrtů odebraných z konstrukce.

Článek byl vytvořen za podpory záměru VVZ MSM 0021630511
 Progressivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí.

Text článku byl posouzen odborným lektorem.

Doc. Ing. Jiří Brožovský, CSc.
 Ústav technologie stavebních hmot a dílců
 Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně
 tel.: 541 147 513, 777 347 082
 e-mail: brozovskyj@fce.vutbr.cz



Literatura:

- [1] Drochytka R. a kol.: Progressivní stavební materiály s využitím druhotných surovin a jejich vliv na životnost konstrukcí. VUT v Brně Závěrečná roční zpráva projektu MSM 0021630511, Brno, 2009. Brožovský, J. Dílčí téma 3
- [2] Brožovský J., Zach J., Brožovský J., jr.: Gypsum free cements and concretes made with them: strength determination using nondestructive testing methods. E-journal of Nondestructive Testing, November 2007, vol. 12, No. 11, s. 1–9
- [3] Brožovský J., Fojtík T., Brožovský J., jr.: Built-in Concretes Made with Gypsum Free Cements: Compression Strength Determination Using Nondestructive Testing Methods. In The Third International Conference on Structural Engineering, Mechanics and Computation, Cape Town, South Africa, 2007, ed. A. Zingoni, Millpress Science Publishers, Rotterdam The Netherlands, p. 1554–1559, ISBN 978 90 5966 057 1
- [4] Brožovský J., Zach J., Brožovský J., jr.: Non-destructive testing of solid brick compression strength in structures. In IV Conferencia Panamericana for Non destructive Testing, Buenos Aires, Argentina, 2007, Primera edición, Asociación Argentina de Ensayos No Destructivos y Estructurales, 2007, p. 1–9 (paper №1), ISBN 978-987-23957-0-4
- [5] ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích
- [6] ČSN EN 12504-1 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 1: Vývrtů – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku
- [7] ČSN EN 12504-2 Zkoušení betonu v konstrukcích – Část 2: Nedestruktivní zkoušení – Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem
- [8] ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení
- [9] ČSN 73 1373 Tvrdoměrné metody zkoušení betonu
- [10] ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí