

4. TVRDOMĚRNÉ ZKOUŠENÍ BETONU

4.1. ÚVOD

V oblasti tvrdoměrného zkoušení betonu došlo v letech 2001-2007 k převzetí a vydání nových evropských norem pro zkoušení betonu v konstrukcích: ČSN EN 12504-2 [4.1] (původně 2002, změna 2013, nové vydání 2021) a ČSN EN 13791 [4.2] (původně 2007, zásadní revize 2021). Původní norma pro tvrdoměrné zkoušení ČSN 73 1373 [4.3] měla být zrušena, ovšem vychází znovu jako harmonizovaná v roce 2011 spolu s normou ČSN 73 2011 [4.4], což do jisté míry komplikuje situaci ve vyhodnocování výsledků zkoušek. Cílem kurzu bude seznámit se podrobně s prováděním a vyhodnocováním tvrdoměrných měření podle obou systémů platných norem. Pozornost bude zaměřena prakticky pouze na odrazové tvrdoměry, neboť ostatní tvrdoměrné metody, např. vnikací či vtiskové, se již v praxi nepoužívají (ovšem princip obou norem lze použít na jakoukoliv metodu, u níž je zajištěna dobrá korelace mezi ukazatelem metody a pevností betonu v tlaku).

Tvrdoměrné metody patřily a stále ještě patří k nejpoužívanějším nedestruktivním metodám ve stavebnictví. Oblíbenost metody spočívá v poměrně jednoduchém postupu, podle něhož je možné na základě zjištěného ukazatele tvrdosti stanovit hodnotu krychelné pevnosti v tlaku betonu. Vzhledem k naprostému nedostatku kvalitního zařízení pro odběr jádrových vývrtů byly tvrdoměrné nedestruktivní metody dokonce preferovány i v normách a na překážku nebyla ani nižší přesnost těchto metod proti normovým destruktivním zkouškám. Po upřesnění pevností v tlaku získaných tvrdoměrným měřením prostřednictvím doplňkových zkoušek na vývrtech, anebo při použití určujícího kalibračního vztahu, bylo na výsledky zkoušek nahlíženo stejně, jako by byly získány na zkušebních krychlích. Dalším důvodem jejich obliby byl a je nedestruktivní charakter těchto metod. Postupem doby však došlo k posunu směrem k preferenci **přímých** metod (výsledkem měření je přímo pevnost), zejména zkoušení jádrových vývrtů, což reflektují i nové evropské normy. Tvrdoměrné metody jako **nepřímé** mohou být nadále použity ke stanovení pevnosti v tlaku, ovšem **referenční metodou je zkoušení na vývrtech**.

4.2. ROZDĚLENÍ TVRDOMĚŘŮ

Tvrdoměrné (sklerometrické) zkoušení je povrchové zkoušení betonu na tělese, prvku nebo konstrukci pomocí tvrdoměru, kdy se měří a vyhodnocuje předepsaný počet místních poruch, přetvoření nebo pružných reakcí od vyvozeného úderu.

Používat se mají takové tvrdoměrné metody, které dávají objektivní informace o vlastnostech betonu (rovnoměrnost, pevnost v tlaku).

4.2.1. Tvrdoměry uvedené v ČSN 73 1373 [3]

Podle ČSN 73 1373 se jedná o tyto typy přístrojů:

- a) Tvrdoměry **Schmidt** (odrazové) typů **N**, **L**, **M**. Měřenou veličinou u těchto typů tvrdoměřů je odraz (odskok) - délka vratné dráhy úderného zařízení (beranu).
- b) **Špičákový** tvrdoměr (vnikací) – pružinový nebo elektromagnetický tvrdoměr s kaleným kuželovitým hrotem, vhodný pro betony s nižší pevností.

Ostatní tvrdoměry lze použít pouze tehdy, pokud byly prověřeny nebo schváleny odborným ústavem. Ve skutečnosti se dnes tvrdoměrné měření betonu provádí téměř výhradně odrazovými tvrdoměry typu Schmidt.

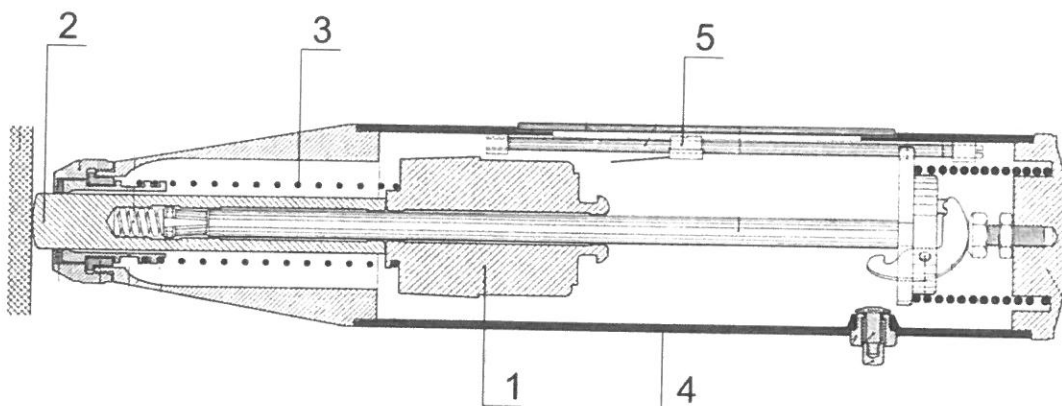
4.2.2. Odrazové tvrdoměry

Nová norma ČSN EN 12504-2 [4.1] hovoří pouze o stanovení tvrdosti **odrazovými** tvrdoměry, neboť ostatní metody jsou využívány okrajově. Proto se v této části budeme podrobněji zabývat principy a základními typy odrazových tvrdoměrů.

Na trhu je několik typů a velikostí tvrdoměrů pro zkoušení různých druhů betonů a různě velkých prvků. Liší se energií provedeného rázu, velikostí i mechanickou konstrukcí. Každý typ tvrdoměru se má používat pouze pro pevnostní třídy a druhy materiálu, pro který je určen. Největší sortiment tvrdoměrů můžeme nalézt u firmy Proceq, výrobce originálního tvrdoměru Schmidt (ovšem patentová ochrana již vypršela, známé jsou tvrdoměry z Itálie nebo Číny). Podle velikosti energie vyvinuté při zkušebním rázu dělíme odrazové tvrdoměry v zásadě na:

- a. typu N, s energií přibližně 2,25 J,
- b. typu L, s energií přibližně 0,75 J,
- c. typu M, s energií přibližně 30,0 J.

Odrazový tvrdoměr se sestává z beranu s pružinou, která po uvolnění vymrští beran na ocelový razník. Zjednodušenou funkci odrazového tvrdoměru ukazuje schéma na **Obr. 4.1**.



Obr.4.1 Schéma odrazového tvrdoměru

Beran (1) je držen v určité vzdálenosti od razníku (2). Tažná pružina (3) je jedním koncem upnuta k pouzdru (4) a druhým k beranu (1). Při zkoušce se opře úderník svým kulovitým koncem o povrch betonu a tlakem na pouzdro směrem k betonu se napíná tažná pružina. V nastavené poloze je uvolněn beran a dopadne na razník. Při nastalém rázu se energie pohybu beranu projeví jednak vtiskem razníku do povrchu betonu a jednak odrazem beranu zpět. Velikost odrazu (délka vratné dráhy beranu) závisí na tvrdosti materiálu. Při zpětném pohybu beran posune značku na stupnici (5).

Přístroj je možno aretovat v poloze po provedení rázu. Značka přitom zůstane na ukazateli stát. Při odaretování se posune značka na výchozí polohu, beran se znovu zavěsí a zkoušku je možno provést na dalším místě. Toto schéma platí pro typ N (**Obr. 4.2**) a typ L (**Obr. 4.4**). Typy NR (**Obr. 4.3**) a LR mají místo značky registrační zařízení, které zaznamená posun beranu na registrační pás v nástavbě přístroje. Typ M je vzhledem ke své hmotnosti autoaretační (**Obr. 4.5**). Zcela odlišné je odečítání na moderních digitálních přístrojích, např. SilverSchmidt PC N.



Obr. 4.2 Tvrdoměr Original Schmidt N



Obr. 4.3 Tvrdoměr Schmidt Live se záznamem naměřených dat do mobilního telefonu.

4.2.3. Tvrdoměr SilverSchmidt

Tvrdoměrné zkušební kladívko SilverSchmidt (**Obr. 4.4**) je modernější variantou kladívka originál Schmidt N. Odečítání se zobrazuje na displeji a může být automaticky převedeno na pevnost v tlaku. Na rozdíl od hodnoty odskoku „R“ (originál Schmidt) měří novou hodnotu „Q“, představující koeficient odrazu:

$$Q = 100 \cdot \frac{\text{energie obnovená}}{\text{energie vstupní}} \quad (\text{rov. 4.1})$$

Kladívko SilverSchmidt pomocí optických čidel měří rychlost úderu a zpětného rázu okamžitě před úderem a po něm, přičemž vypočítá množství energie, k jejímuž obnovení může dojít. Znamená to, že hodnota „Q“ je proti hodnotě odskoku „R“ méně závislá na tření na vodící tyči, gravitaci a na relativní rychlosti mezi kladívkem a vzorkem (např. při uchycení).

Hodnota „Q“ nevyžaduje žádnou korekci na směr úderu.

Hodnota „Q“ umožňuje rozšíření převodního rozsahu, a to na obou koncích stupnice. Tím je možné zkoušet i moderní betonové směsi. Rozsah pevností udává výrobce od 10 MPa do 100 MPa.



Obr. 4.4 Tvrdoměr Silver Schmidt PC typu N

4.2.4. Obecné zásady použití tvrdoměrných metod

- Pomocí tvrdoměřů se zkouší **beton povrchových vrstev** (cementový tmel).
- Při použití tvrdoměrných metod se předpokládá (pokud nebyla zjištěna vrstevnatost betonu), že pevnost betonu v tlaku je stejná do hloubky 200 mm.
- Použitelnost základních odrazových tvrdoměřů s ohledem na tloušťku, pevnost v tlaku, vlhkost stanoví **Tab. 4.1**, částečně převzatá z normy ČSN 73 1373 a doplněná údaji od výrobce Proceq . V tabulce jsou již uvedeny zcela nové údaje týkající se moderního přístroje SilverSchmidt PC N s integrovanou digitální jednotkou. Pokud se na přístroj osadí hříbovitý nástavec, lze zkoušet i betony nízkých pevností, např. krátce po odformování nebo odbednění.

Tab. 4.1 Rozsah použití odrazových tvrdoměřů [ČSN 73 1373, Proceq]

Použitý tvrdoměr	Krychelná pevnost betonu [MPa]	Nejmenší tloušťka vrstvy betonu [mm]	Nejmenší šířka betonové zálivky [mm]
Schmidt N	17 až 60	100	30
Schmidt L	13 až 50	60	30
Schmidt M	25 až 60	200	Nepoužívá se
Silver Schmidt N	10 až 100	100	30
Silver Schmidt LM s hříbovitým nástavcem	5 až 30	60	30

4.3. TVRDOMĚRNÉ ZKOUŠKY OBECNĚ PODLE ČSN 73 1373 [3]

4.3.1. Předmět normy

Tato norma měla být zrušena krátce po vydání ČSN EN 12504-2 v roce 2002. Místo toho byla v roce 2011 vydána znovu. Nové vydání by nemělo být v rozporu s ČSN 12504-2, ovšem tato norma byla vydána znovu v roce 2021.

Výhodou ČSN 73 1373:2011 proti EN je bezesporu lepší postup umožňující získat upřesněnou pevnost v tlaku betonu. Slabinou nového vydání je, že kopíruje určitá ustanovení starších vydání (včetně obecných kalibračních vztahů), bez kritického zhodnocení změn, které s sebou přinášejí moderní technologie výroby betonu.

4.3.2. Termíny a definice

Tvrdoměrné zkoušení: Zkoušení betonu na povrchu tělesa nebo konstrukce měřením velikosti záměrně vyvozených místních poruch, pružných reakcí od vyvozeného úderu a vyhodnocení naměřených údajů.

Tvrdoměr: Přístroj, který vyvozuje místní poruchy, přetvoření nebo pružné reakce na povrchu betonu, které lze měřit a ze kterých lze vyhodnotit ukazatel vlastnosti betonu.

Stopa: Ohraničené místo poruchy nebo přetvoření povrchu betonu záměrně vytvořené tvrdoměrem za účelem dosažení měřitelného ukazatele NDT zkoušky.

Odras: hodnota indikovaná na zařízení přístroje, která je závislá na pružné reakci betonu.

4.3.3. Způsoby stanovení pevnosti v tlaku

Podle této normy je cílem zpravidla stanovení **krychelné pevnosti** v tlaku obyčejného hutného betonu, a to:

- a. *Pevnost betonu s nezaručenou přesností*, při níž se ukazatel měření vyhodnotí podle obecného, popř. směrného kalibračního vztahu.
- b. *Upřesněná pevnost betonu*, při níž se ukazatel měření vyhodnotí podle.
 - ba) určujícího kalibračního vztahu úzkého nebo širokého (ČSN 73 1370 [4.5]);
 - bb) obecného nebo směrného kalibračního vztahu upřesněného součinitelem α .

Obecné kalibrační vztahy uvedené v ČSN 73 1373 platí pouze pro obyčejný hutný beton, který byl zhotoven z běžně používaného hutného kameniva a portlandského cementu (nebo cementu s portlandskou bází), a který nebyl vystaven mimořádným vlivům prostředí. Tyto vztahy platí pro betony vlhké a přirozeně vlhké ve stáří 14 až 56 dnů.

Obecné kalibrační vztahy neplatí pro betony:

- z kameniva a cementu neobvyklých vlastností,
- zhotovené injektážním způsobem,
- nezhotněné nebo mezerovité.

Poznámka: Norma ČSN 73 1373 byla sice vydána v roce 2011, ale její podstata sahá do 50. až 80. let 20. stol. Je značně diskutabilní, zda jakýkoliv druh moderního betonu odpovídá tradičnímu obyčejnému hutnému betonu. Z toho důvodu se zásadně nedoručuje požívat postup a) – stanovení pevnosti v tlaku s nezaručenou přesností.

4.3.4. Vypracování a upřesňování kalibračních vztahů

Kalibrační vztahy se tvoří podle zásad ČSN 73 1370 na krychlích. Krychle se zatíží v lisu na přibližně 10% své pevnosti v tlaku. Krychle se zkoušejí na dvou protilehlých stranách – bočních výrobních plochách. Na celé zkušební ploše se provede tolik ukazatelů (odrazů, vtisků), kolik je předepsáno pro danou metodu (pro Schmidtův tvrdoměr 9 měření, pro špičákový tvrdoměr 3 měření), přičemž se dodrží minimální vzdálenosti ukazatelů od sebe i od hran prvku (dle druhu tvrdoměru). Poté se krychle rozdrťí pro stanovení pevnosti v tlaku.

Pokud se kalibrační vztah provádí na zkušebních válcích, pak se na obou úložných plochách provede 5 měření (úložné plochy musí být hladké).

Poznámka: Pokud se odebírají válce z konstrukce, pak se nedestruktivní měření provádí přímo na konstrukci v místě odběru. Při měření válců zhotovených ve formách se tyto postaví na silnou ocelovou desku, pevně se k desce uchytí a zkouší se horní plocha válce (svisle).

Pro upřesnění obecného nebo směrného kalibračního vztahu **součinitelem α** je zapotřebí:

- A. Nejméně 9 krychlí nebo válců, zhotovených ze stejných složek jako je beton konstrukce nebo dílce, zhutňovaných a ošetřovaných pokud možno stejným způsobem jako tento beton a které jsou přibližně stejného stáří.
- B. Nejméně dále uvedené množství zkušebních těles vyjmutých přímo z konstrukce nebo dílců podle objemu zkoušené konstrukce nebo dílců:
 - a) 3 tělesa na objem nepřesahující 10 m³,
 - b) 6 těles na objem nepřesahující 50 m³,
 - c) 9 těles na objem větší než 50 m³,

- d) 3 tělesa, jestliže konstrukce nebo dílce byly nedestruktivně vyšetřovány a tělesa byla odebrána z míst, která po vyhodnocení neupřesněných zkoušek vykazovala nejmenší, průměrnou a nejvyšší pevnost.

Součinitel α se vypočte ze vztahu:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n f_{bi}}{\sum_{i=1}^n f_{bei}} = \frac{\sum_{i=1}^n f_b \text{ destruktivní}}{\sum_{i=1}^n f_b \text{ nedestruktivní}} \quad (\text{rov. 4.2})$$

- kde n je počet měření;
 f_{bi} , je pevnost v tlaku stanovená z i -tého měření normalizovanou tlakovou zkouškou (krychelná pevnost);
 f_{bei} je pevnost v tlaku s nezaručenou přesností, stanovená na témže vzorku nedestruktivně;

4.4. METODA SCHMIDTOVÝCH TVRDOMĚŘŮ PODLE ČSN 73 1373 [4.3]

Podstatou zkoušky je **stanovení pevnosti v tlaku betonu z hodnoty odrazu** (odskoku) přístroje od povrchu betonu.

4.4.1. Kontrolní kovadlina

Zkušební přístroje se metrologicky ošetřují na kovadlině. Před každým měřením souboru zkušebních míst se velikost odrazu kontroluje na kalibrační kovadlině. Kalibrační kovadlina má tvrdost min. 52 HRC, průměr cca 150 mm a hmotnost 16 ± 1 kg. Hodnota na kovadlině má vykazat hodnotu stanovenou výrobcem pro daný typ přístroje. Např. pro tvrdoměr Schmidt N od výrobce Proceq má být 79 ± 2 .

4.4.2. Zkušební místo

Pevnost betonu se určuje z tvrdosti cementové malty. Za jedno zkušební místo považujeme takové místo na povrchu konstrukce anebo vzorku, kde předepsaným postupem měření a vyhodnocení získáme jeden údaj **pevnosti betonu**. Zkušební plocha má být tak velká, aby se na ní dal provést potřebný počet úderů tak, aby po vyloučení nevhodných zůstalo alespoň 7 platných měření.

Místa jednotlivých úderů na jednom zkušebním místě musí být od sebe vzdálena dle typu tvrdoměru, např. u typu Schmidt N je minimální vzdálenost 30 mm od okraje betonu a 30 mm od sebe.

Zkušební místa se zbaví zkarbonatované vrstvy betonu a vybrousí se za suchu tak, aby byla jasně patrná struktura betonu. Zkoušky se provádějí na cementovém tmelu, který je rozhodující pro pevnost v tlaku betonu.

4.4.3. Provedení zkoušky

Pro vyhodnocení jednoho zkušebního místa potřebujeme alespoň **7 platných měření**. Je lépe provést jich více (většinou 10), aby v případě neplatných měření nebylo nutné zkušební místo vyřadit.

PŘÍKLAD 4.1.

Na zkušebním místě bylo tvrdoměrem Schmidt N vodorovně naměřeno 10 hodnot odrazů: $a_i = 31, 33, 38, 43, 34, 33, 34, 33, 32, 35$. Vyhodnoťte zkušební místo podle ČSN 73 1373.

Vyhodnocení:

Pevnost přiřazená jednotlivým odrazům: $f_{be,i} = 25, 28, 37, 46, 30, 28, 30, 28, 27, 32$ MPa.

Průměrná pevnost ze všech měření: $f'_{be} = 31,1$ MPa.

Vypočteme dolní a horní mez intervalu (aritmetický průměr $\pm 20\%$):

Dolní mez intervalu: $0,8 \times f'_{be} = 0,8 \times 31,1 = 24,9$ MPa,

Horní mez intervalu: $1,2 \times a' = 1,2 \times 31,1 = 37,3$ MPa.

Žádná hodnota není nižší než 24,9, jedna hodnota (46) je vyšší než 37,3. Tato hodnota se vyřadí, ostatní jsou platné: $f_{be,i} = 25, 28, 37, 46, 30, 28, 30, 28, 27, 32$.

Z 9 platných měření (musí být alespoň 7), se vypočte nový aritmetický průměr f_{be} :

$f_{be} = 29,4$ MPa.

Výsledkem je hodnota pevnosti zaokrouhlená na celé jednotky, tedy $f_{be} = 29$ MPa.

Poznámka: V novém vydání normy ČSN 73 1373:2011 prosadili tvůrci normy krkolomný a nelogický způsob vyhodnocení pevnosti v tlaku betonu. Pokud jsou hodnoty odrazu v polovině kalibračního vztahu, je vyhodnocení podobné, jako kdyby se provádělo pomocí průměrné hodnoty odrazu. Potíže s vyhodnocením nastávají při nízkých nebo naopak vysokých hodnotách odrazu, na hranici použitelnosti kalibračního vztahu.

4.4.5. Stanovení pevnosti v tlaku

Ke každé měřené míře odrazu se z kalibračního vztahu najde hodnota pevnosti R_{be} , přičemž se zohlední směr zkoušení. Obecný kalibrační vztah pro Schmidt typu N pro vodorovný směr zkoušení z normy ČSN 73 1373 je uveden v **Tab. 4.2**.

Je-li zkoušený beton starší 56 dnů, pak se odvozená hodnota pevnosti v tlaku vynásobí součinitelem stáří α_t , který je: **DO 56 DNŮ = $\alpha_t = 1$**

při stáří betonu 57 – 180 dnů $\alpha_t = 0,95$,

181 – 360 dnů $\alpha_t = 0,93$,

nad 360 dnů $\alpha_t = 0,90$.

Je-li zkoušený beton jiný než vlhký, popř. přirozeně vlhký, vynásobí se odvozená hodnota pevnosti betonu v tlaku součinitelem vlhkosti α_w , který je:

u betonu suchého $\alpha_w = 0,85$,

u betonu přirozeně vlhkého a vlhkého $\alpha_w = 1,00$,

u betonu nasyceného vodou $\alpha_w = 1,05$.

Upřesněná hodnota pevnosti betonu v tlaku se určí jedním z těchto způsobů:

- Při použití určujícího kalibračního vztahu odvozením z tohoto vztahu,
- Při použití součinitele a nejdříve odvozením pevnosti v tlaku s nezaručenou přesností z obecného kalibračního vztahu (f_{be}) a vynásobením této hodnoty součinitelem α podle vztahu:

$$f_b = \alpha \cdot f_{be} \quad (\text{rov. 4.3})$$

Na vybraném místě se hmatem zkontroluje, zda povrch vyhovuje požadavkům na zkoušení. Přístroj opřeme úderníkem o povrch betonu. Je-li zaaretován, lehce přitlačíme pouzdro k betonu, aretace se uvolní a pouzdro se může odsunout od betonu.

Potom pomalu zatlačíme na pouzdro směrem k betonu tak dlouho, až nastane ráz, způsobený úderem beranu do úderníku. Přístroj můžeme zaaretovat, anebo ihned čteme na stupnici odraz na celé jednotky a zapíšeme. Při použití registračního přístroje není nutno mezi jednotlivými rázy přístroj aretovat, míry odrazu je možno odečíst z registračního pásu po ukončení zkoušky.

Při zkoušce Schmidtovým tvrdoměrem je nutno zaznamenat i polohu, ve které byl přístroj při zkoušce (vodorovně, svisle nahoru – při zkoušce stropu, svisle dolů – při zkoušce podlahy). Tato skutečnost se totiž projeví při vyhodnocení ve formě korekce vlivu gravitace na funkci přístroje.

4.4.4. Zpracování výsledků měření a test platnosti odrazů

Vyhodnocení může být provedeno buď podle kalibračního vztahu, vytvořeného pro konkrétní druh betonu, anebo podle kalibračního vztahu obecného z ČSN 73 1373.

Při vyhodnocování se berou v úvahu výsledky, při jejichž měření byla zkouška provedena do cementové malty v betonu a nedošlo v místě zkoušky k destrukci. Přesto však mohlo dojít k ovlivnění zkoušky tím, že těsně pod povrchem byl velký kámen anebo velká dutina. Ke každé hodnotě měření se odečte hodnota pevnosti v tlaku podle kalibračního vztahu. Hodnota pevnosti jednotlivých platných měření se nesmí lišit od aritmetického průměru všech měření na témže zkušebním místě o více než $\pm 20\%$. Pevnosti, které vybočují z těchto mezních odchylek, se vyloučí a ze zbývajících platných měření (alespoň 7) se vypočte nový aritmetický průměr

Pokud platných měření zůstane alespoň 7, je celá sada platná a ze všech platných měření se vypočte znovu **aritmetický průměr pevnosti**, který se **zaokrouhlí** na celý MPa.

V **Tab. 4.2.** je uveden tabelárně zpracovaný kalibrační vztah pro Schmidt N ve směru vodorovném dle ČSN 73 1373.

Tab. 4.2 Kalibrační vztah pro stanovení pevnosti v tlaku f_{be} - Schmidt N, vodorovně

Odraz a	f_{be} [MPa]	Odraz a	f_{be} [MPa]	Odraz a	f_{be} [MPa]	Odraz a	f_{be} [MPa]
25	16	32	27	39	39	46	52
26	18	33	28	40	41	47	53
27	19	34	30	41	42	48	55
28	21	35	32	42	44	49	57
29	22	36	33	43	46	50	59
30	24	37	35	44	48	51	61
31	25	38	37	45	50	52	63

Obecný kalibrační vztah je v ČSN 731373 uveden i ve formě vztahu:

Směr vodorovný: přímka A $f_{be} = 1,750\alpha - 29,000$

B $f_{be} = 1,786\alpha - 30,440$

Přímka A platí pro odrazy v rozmezí 25-40, přímka B je pro odrazy v rozmezí 41-54, α je velikost odrazu.

PŘÍKLAD 4.2.

Na zkušebním místě z Příkladu 1 byla tvrdoměrem Schmidt N zjištěna průměrná hodnota odrazu $\alpha=34$. Zjistěte neupřesněnou pevnost v tlaku f_{be} , je-li beton 8 měsíců starý a přirozeně vlhký.

Vyhodnocení:

Aritmetický průměr z platných měření: $\alpha = 34$.

Z obecného kalibračního vztahu pro Schmidt N vodorovně: $f_{be}' = 30 \text{ MPa}$.

Součinitel stáří pro beton starý 240 dnů: $\alpha_t = 0,93$.

Součinitel vlhkosti pro přirozeně vlhký beton: $\alpha_w = 1,00$.

Přepočtení podle stáří a vlhkosti: $f_{be} = \alpha_t \cdot \alpha_w \cdot f_{be}' = 0,93 \cdot 1,00 \cdot 30 = 27,9 = 28 \text{ MPa}$

Výsledkem je neupřesněná pevnost v tlaku betonu zaokrouhlená na celé číslo: $f_{be} = 28 \text{ MPa}$.

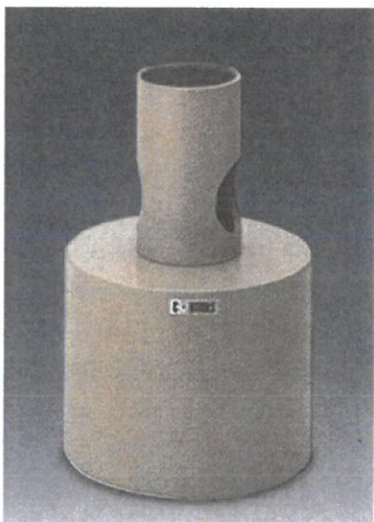
4.5. TVRDOMĚRNÉ ZKOUŠKY PODLE ČSN EN 12504-2 [4.1]

4.5.1. Podstata zkoušky

Podkladem pro tuto normu bylo používání tvrdoměru Original Schmidt typu N. Norma uvádí postup pro stanovení hodnoty odrazu pomocí ocelového beranu vymrštěného pružinou na ocelový razník proti povrchu ztvrdlého betonu. Tvrdost stanovená touto metodou se využívá pro posouzení **rovnoměrnosti** uloženého betonu, k ohraničení **míst s nižší jakostí** nebo poškozeného betonu. Tato zkušební metoda není alternativní ke stanovení pevnosti betonu v tlaku, avšak při vhodné korelaci ji lze použít pro **odhad pevnosti** betonu in situ.

4.5.2. Referenční kovadlina

Ověření funkce a kontrola odrazového kladívka se provádí na referenční kovadlině o předepsané hmotnosti $16 \pm 1 \text{ kg}$ a tvrdosti odrazové plošky 52 HRC – viz **Obr. 4.5**. Lze použít i jiné kovadliny, pokud lze prokázat, že naměřené hodnoty jsou v tolerancích ± 3 dílky od hodnoty udávané výrobcem pro daný typ tvrdoměru. Nově (zejména in situ) se mohou využívat i menší přenosné kovadliny (**Obr. 4.6**), ovšem v pravidelných intervalech je důležité kontrolovat tvrdoměry i na velké kovadlině.



Obr. 4.5 Kalibrační kovadlina velká ($16 \pm 1 \text{ kg}$).



Obr. 4.6 Kalibrační kovadliny malé, zvláště pro Schmidt Live N a L, pro zkoušení in situ.

4.5.3. Volba a úprava zkušební místa

Betonové prvky, které mají být zkoušeny, musí mít tloušťku nejméně 100 mm a musí být spojeny s konstrukcí. Menší zkušební tělesa mohou být zkoušena za předpokladu, že jsou pevně podepřena. Je nutno se vyhnout místům se šterkovými hnízdy, s odlupováním, s hrubou texturou povrchu nebo místům vysoce porézním.

Při výběru ploch, které mají být zkoušeny, se musí vzít v úvahu zejména tyto okolnosti: pevnost betonu, druh povrchu, druh betonu, vlhkost povrchu, karbonatace, posun betonu při zkoušce, směr zkoušky a další důležité okolnosti.

Zkušební plocha musí být přibližně 300 mm × 300 mm.

Brusným kamenem se obrousí hrubé nebo měkké povrchy a nebo povrchy s uvolněnou maltou tak, až jsou hladké. Hladké povrchy nebo povrchy uhlazené hladítkem se mohou zkoušet bez obroušení. Musí se odstranit jakákoli voda, která je na povrchu betonu.

4.5.4. Provedení zkoušky

V rámci předběžné přípravy před sérií zkoušek na betonu se očistí povrch razníku i kontrolní kovadliny a tvrdoměr se nejprve 5 x aktivuje na kontrolní ocelové kovadlině, poté se provede dalších 5 úderů a ty se zapíší. Pokud hodnoty z posledních 5 úderů nejsou v rozmezí ± 3 dílky od hodnoty udané výrobcem pro daný typ tvrdoměru, pak se musí vyčistit a seřídít a následně se postup opakuje.

Tvrdoměr lze používat při teplotě v rozmezí 0°C až 50°C.

Vlastní provedení úderu je stejné jako u postupu dle ČSN 73 1373 (kolmo k povrchu, drží se pevně, plynule se zvyšuje tlak na přístroj, dokud nenarazí).

Po nárazu se zaznamená hodnota (odraz, vrácená energie). Po každém úderu se prohlédne vtisk na povrchu, a pokud je nárazem rozdrčen nebo rozlomen v důsledku blízkosti podpovrchové vzduchové dutiny, tento výsledek se vyloučí.

K získání spolehlivého odhadu tvrdosti se na každé zkušební ploše provede nejméně **devět platných čtení**.

Dále musíme zaznamenat polohu a směr působení tvrdoměru pro každou sadu čtení (vodorovně, svisle nahoru – při zkoušce stropu, svisle dolů – při zkoušce podlahy). Je nutno zajistit, aby každý zkušební bod byl vzdálen **od sousedního nejméně 25 mm** a nejméně **25 mm od hrany** konstrukce.

Po zkoušení se tvrdoměr opět ověří na referenční kovadlině (5 čtení). Pokud se výsledek liší o více než ± 3 , je nutno tvrdoměr vyčistit anebo seřídít a zkoušku opakovat.

4.5.5. Výsledek zkoušky

Výsledkem zkoušky je **medián ze všech čtení**, při jejichž případné úpravě se bere v úvahu směr působení tvrdoměru podle pokynu výrobce, a vyjádří se jako **celé číslo**. Jestliže se **více než 20 % hodnot liší od mediánu o více než 25 %**, pak se celá sada odečtů vyřadí.

Poznámka: Z důvodu snadného určení mediánu je výhodné použít lichý počet měření na zkušebním místě. Výhodnější je použít 11 hodnot čtení než minimálně požadovaných 9. Při počtu 9 čtení totiž 2 odlehlé hodnoty již znamenají více než 20 % hodnot a celá sada se musí vyřadit, zatímco v případě 11 měření při 2 odlehlých hodnotách je vše v pořádku..

Protokol o zkoušce musí obsahovat tyto údaje:

- Odkaz na tuto normu, včetně roku vydání;
- identifikace betonové konstrukce/prvku;

- identifikaci místa (míst) zkoušky;
- typ a identifikace odrazového kladiva;
- popis přípravy zkušební místo (míst);
- podrobnosti o betonu (pokud jsou známy) a o jeho stavu;
- datum/čas provedení zkoušky;
- výsledek zkoušky (medián z naměřených hodnot) případně upravené podle orientace tvrdoměru pro každé zkušební místo;
- jakákoliv odchylka od standardní zkušební metody, např. voda na povrchu, teplota mimo rozsah;
- prohlášení osoby technicky zodpovědné za zkoušku, že byla provedena v souladu s touto směrnicí (s výjimkou uvedených odchylek).

Protokol může obsahovat i jednotlivé hodnoty odrazu na tvrdoměru, pokud jsou požadovány.

Norma ČSN EN 12504-2 neobsahuje postup pro stanovení pevnosti v tlaku, ten je součástí normy ČSN EN 13791.

PŘÍKLAD 4.3.

Na zkušebním místě bylo tvrdoměrem Schmidt N naměřeno 9 hodnot odrazů:

31, 33, 38, 45, 40, 34, 30, 32, 33. Vyhodnoťte zkušební místo podle ČSN EN 12504-2.

Vyhodnocení:

Medián hodnot odrazu: $R_{med} = 33$.

Dolní mez intervalu: $R' \times 0,75 = 33 \times 0,75 = 24,7$

Horní mez intervalu: $R' \times 1,25 = 33 \times 1,25 = 41,3$

Do tohoto intervalu nespadá pouze 1 hodnota z 9 ($R=45$). Jelikož to není více než 20%, je celá sada platná. Výsledkem je hodnota tvrdosti uvedená jako celé číslo: $R_{med} = 33$.

4.6. ODRAZOVÉ TVRDOMĚRY – POUŽITELNOST METODY

4.6.1. Ovlivňující činitelé – nové betony

Tvrdoměrná odrazová metoda je tradiční metodou, která poskytovala velmi dobré výsledky na rovnoměrném betonu (vyráběném z tradičních surovin) ve stáří 14 až 56 dnů, s pevností v tlaku přibližně od 20 MPa do 60 MPa. U **nově betonovaných konstrukcí** však z důvodu změny složení a technologie výroby betonu (přísady, příměsi, složení cementů, transportbetony) časem došlo ke dvěma zásadním jevům:

- Nastal odklon od obecného korelačního vztahu v normě, neboť při stejných hodnotách odrazu je pevnost v tlaku obvykle vyšší než v minulosti. Příčinou je právě užití nových surovin – přísad, příměsí, druhů cementu apod.
- Snížila se citlivost tradičních tvrdoměrů – na stejný rozsah měřených ukazatelů tvrdosti připadá v současné době výrazně větší rozsah pevností v tlaku.

Na výše uvedené skutečnosti zareagoval nejvýznamnější výrobce tvrdoměrů – švýcarská firma Proceq – vývojem nového tvrdoměrného kladívka SilverSchmidt. Zde je ukazatelem tvrdosti zcela nová veličina – koeficient obnovené energie Q , což umožňuje zvýšit rozsah měření jak směrem nahoru až k pevnostem v tlaku 100 MPa, tak i směrem dolů k pevnostem

od 10 MPa. Tvrdoměr SilverSchmidt je perspektivní zejména v oblasti kontroly kvality nových betonových konstrukcí nebo dílců, vyráběných z moderního betonu.

4.6.2. Ovlivňující činitelé – staré betony

Se specifickými problémy se setkáváme při zkoušení betonu **ve starších konstrukcích**:

- Povrch betonu může být zkarbonatován. Tvrdost povrchu je pak obvykle vyšší, než by odpovídalo betonu pod povrchem. Jedním z řešení je obroušení betonu až na zdravé jádro s $\text{pH} \geq 9,5$, což je však efektivní maximálně do hloubky 20 mm od povrchu.
- U masivní konstrukce může být beton podélně vrstevnatý, což znamená, že vlastnosti betonu v jádře průřezu jsou jiné (často horší), než je tomu u povrchové vrstvy. Zvláštním případem je obetonování původního profilu novou vrstvou betonu, např. při statickém zajištění konstrukce v minulosti (záznamy o tom často neexistují). U starších mostních konstrukcí se můžeme rovněž setkat s tzv. předsádkou, což bývá 80-100 mm silná vrstva kvalitního betonu na povrchu, která byla vytvořena současně s jádrem průřezu za účelem ochrany horšího betonu v jádře. Řešením je kombinace tvrdoměrů s jinou metodou, alespoň ultrazvukovou, nejlépe však s jádrovými vývrty.
- Povrch betonu mohl být v minulosti upraven sanační omítkou, která je obvykle jemnozrnná a výrazně tvrdší. Řešení je opět obroušení či provedení jádrového vývrty.
- Beton byl technologicky proveden nestandardním způsobem, např. proteplováním. Zde nelze použít obecné kalibrační vztahy.
- Pro výrobu betonu bylo použito nekvalitní těžené neprané kamenivo s velkým obsahem jílovitých částic. Takový beton je charakteristický nižší soudržností kameniva a tmelu, což se projevuje nižší pevností v tlaku (dochází k „vylupování“ oblázků).

Z výše uvedených skutečností plyne, že v podstatě u žádného betonu, tradičního ani moderního, nelze pevnost v tlaku stanovit pouze na základě tvrdoměrných zkoušek vyhodnocených podle obecného kalibračního vztahu. Vždy je nutné použít **upřesnění**, buď prostřednictvím zkoušek na **vývrtech**, anebo na vyrobených **zkušebních tělesech** (nové betony). U nových betonů je řešením rovněž tvorba vlastního kalibračního vztahu.

4.7. LITERATURA

- [4.1] ČSN EN 12504-2 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem. Praha, ÚNMZ, 2021.
- [4.2] ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích. Praha, ÚNMZ, 2021.
- [4.3] ČSN 73 1373 Tvrdoměrné metody zkoušení betonu. Praha, ÚNMZ, 2011.
- [4.4] ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí. Praha, ÚNMZ, 2012.
- [4.5] ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu. Praha, ÚNMZ, 2011.