

TVRDOMĚRNÉ ZKOUŠENÍ BETONU – ČÁST III. ■

REBOUND HAMMER TESTING OF CONCRETE – PART III.

Dalibor Kocáb, Petr Cíkrle,
Petr Misák

Tento článek je poslední částí plánované trilogie, která se zabývá tvrdoměrným zkoušením betonu. Je věnován především stanovení pevnosti v tlaku betonu v počátečních fázích jeho zrání, neboť při výstavbě je totiž často důležité znát aktuální hodnotu pevnosti betonu v tlaku, obzvláště v případě nutnosti brzkého odstranění bednění. Nespornou výhodou je umět tuto tzv. odbedňovací pevnost stanovit nedestruktivně, k čemuž se tvrdoměrná metoda skvěle hodí. Není však radno provádět odhad pevnosti betonu na základě obecných regresních modelů (tzv. kalibračních křivek), neboť takto dosažené výsledky by se mohly od reality diametrálně lišit. V tomto článku je nastíněna konstrukce vlastního regresního modelu s 95% jednostrannou spolehlivostí pro beton známého složení. V podstatě se jedná o křivku udávající odhad charakteristické pevnosti betonu v tlaku na základě výsledků tvrdoměrných zkoušek. ■ This paper is the last

in a trilogy, which focuses on rebound hammer testing of concrete. The article discusses mainly determination of compressive strength at an early age. During construction it is often important to know the compressive strength at a young age especially when formwork needs to be removed early. It is very useful to determine this strength in a non-destructive way and this can be easily achieved by the rebound hammer test. However, it is not advisable to estimate the strength using general regression models (known as calibration curves), as the results may be very far from the true values. This paper describes the process of constructing a new regression model capable of 95 % one-sided reliability for a concrete of a known composition. In essence, this is a curve that shows an estimate of characteristic compressive strength which is based on the rebound number.

Přestože se tvrdoměrná metoda zkoušení betonu za posledních přibližně 70 let, od chvíle uvedení odrazového tvrdoměru na trh technikem Ernestem Schmidtem, změnila jen málo (princiálně v podstatě vůbec), anebo právě proto, je obecně nejrozšířenější, nejvyužívanější a nejoblíbenější nedestruktivní metodou stavebního zkušebnictví. Není se také čemu divit. Historicky se tvrdoměrné zkoušení překotně vyvíjelo zejména koncem první poloviny minulého století a přes různé způsoby měření a různé přístroje, o kterých jsme pojednávali

v první části článku (*uveřejněné v Beton TKS 6/2018, pozn. redakce*), se ustálilo do podoby, kterou známe dodnes – do podoby tvrdoměru Original Schmidt. Jedná se o ve své podstatě jednoduché (protože geniální věci bývají jednoduché) měřidlo, které zvládne obsluhovat téměř každý. Výsledkem měření je hodnota odrazu, kterou lze snadno pomocí různých regresních modelů (jenž jsou označovány ne zcela korektně jako „kalibrační křivky“) převést na odhad hodnoty pevnosti betonu v tlaku. Když si zkušebník dá pozor na nástrahy, které toto měření téměř vždy provázejí, o čemž jsme psali ve druhé části článku (*uveřejněné v Beton TKS 2/2018, pozn. redakce*), neměl by se výsledek nijak zásadně lišit od reálných hodnot.

Tvrdoměrná metoda zkoušení betonu je v praxi využívána v zásadě dvěma základními způsoby. Prvním, výrazně rozšířenějším a využívaným způsobem je použití tvrdoměru při diagnostice existujících starších konstrukcí, přičemž hlavním záměrem je stanovení pevnostní třídy zkoušeného betonu, příp. jeho rovnoměrnosti [1], [2]. V případě starých konstrukcí je však měření provázeno dříve uvedenými nástrahami a nedestruktivní měření je třeba upřesňovat také tlakovými zkouškami těles získaných z odebraných jádrových vývrtů [3], [4], [5]. Druhý způsob využití tvrdoměrné metody, o kterém bude pojednávat tento třetí a neodvratně poslední díl článku, je kontrola kvality betonu nových konstrukcí, zejména těch, u nichž díky hladkému povrchu odpadá nutnost broušení.

KRÁTCE K METODĚ A K TYPŮM TVRDOMĚRU SCHMIDT

Jednou z výhod Schmidtova tvrdoměru, kromě již uvedené jednoduchosti metody, je skutečnost, že lze pomocí něj zkoušet i jiné materiály, než je beton. Zvědavý čtenář se může dočíst, co vše se ve světě pomocí tvrdoměru zkouší např. v [6] až [11]. Je také vhodné uvést, že přestože je tvrdoměrná metoda velmi jednoduchá, v čemž mimo jiné spočívá také její oblibenost, je předmětem rozsáhlých výzkumných prací. Zbytek odstavce je v článku uveden jen jako taková zajímavá nadstavba a je určen primárně

pro vědecké nadšence a opravdové fajnšmekry – ostatní čtenáři mohou plynule přejít na odstavce následující a o nic podstatného nepřijdou. Ukazuje se, že při vyhodnocování zkoušek betonu pomocí Schmidtova tvrdoměru hraje klíčovou roli správné statistické posouzení získaných hodnot. Bez vyhodnocení variability měření v rámci zkoušky a statistického hodnocení variačního koeficientu hodnot odrazu se správný výzkumník neobejde, což mimo jiné potvrdila rozsáhlá statistická analýza variability tvrdosti betonu s využitím databáze čítající měření v laboratoři i in situ za posledních 60 let. Citovaná studie pokrývala několik tisíc testů (více než osmdesát tisíc individuálních hodnot odrazu) a ukázala, že se v současné technické literatuře i normách vyskytuje v hodnocení betonu pomocí Schmidtova tvrdoměru několik mezer. Provedené testy normality (Shapiro–Wilk normality test) přinesly poměrně rozporuplné výsledky – hypotéza normálního rozdělení dat mohla být dokonce přijata pouze na velmi nízké úrovni pravděpodobnosti pro jednotlivá zkušební místa. Analýza experimentálních dat ukázala silnou pozitivní šikmost rozložení hodnot variačního koeficientu výsledků odrazu, což může být na první pohled překvapující. Co je ale více méně očekávané, je závěr, že obecně nelze odhadovat pevnost v tlaku starších betonů pouze z výsledků tvrdoměrné zkoušky, tedy jednoparametricky, neboť vztah vyžaduje zavedení více vstupů (parametrů), kterými mohou být např. stupeň hydratace, druh a množství cementu a kameniva, podmínky prostředí, podmínky zkoušek a tak dále a tak podobně [12] až [15].

Během uplynulých 70 let byla vyvinuta celá řada tvrdoměru, ovšem v současnosti se nejvíce používají odrazové tvrdoměry typu Schmidt. Existuje jich několik typů a vzájemně se liší energií provedeného rázu, velikostí a tvarem razníku, příp. i mechanickou konstrukcí. V minulosti a velmi pravděpodobně i v současnosti je stále nejpoužívanější Schmidtvův tvrdoměr typu Original Schmidt – klasický tvrdoměr, který se stal základem všech hlavních zkušebních postupů na celém světě [16]. Základním typem je Schmidt N s energií úderu 2,207 Nm,