

Návrh metodiky

Stanovení mechanických parametrů historických stavebních materiálů pomocí šetrné destruktivní metody – zdivo a zdicí prvky

2015

Výstup řešení projektu: DF12P01OVV030 – Metodika stanovení vlivu proměnlivého prostředí na degradaci historického zdiva
Zpracovatel: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební
Autoři: Zatloukal Jan

1. Úvod

U zdiva historických památkových či jiných objektů dochází po určitém čase vlivem degradačních procesů ke změně vlastností použitého materiálu. Tyto degradační procesy jsou zapříčiněny působením okolního prostředí na materiál. Fyzikální děje a chemické reakce, ať už na povrchu či uvnitř materiálu, jsou vyvolané působením podmínek okolního prostředí a jeho agresivitou. Jsou vystaveny klimatickým vlivům, tedy teplotě, vlhkosti, mrazu, průmyslovým exhalacím a všeobecně látkám znečišťujícím ovzduší. Na tyto vlivy se pak váže množství dalších faktorů jako např. obsah solí ve vztlínající vodě, působení živých organismů (biodegradace) a další. K degradaci stavebních materiálů dochází také příčinou lidského faktoru o to zejména při zanedbání údržby či špatným provedením stavby, nevhodným stavebním zásahem či nevhodným výběrem materiálu pro danou aplikaci. Historické zdivo tedy stárne, zvětrává a ztrácí své původní fyzikální, mechanické i estetické vlastnosti. V praxi téměř vždy nastává současné působení několika faktorů.

Proces degradace je nezvratný děj, nelze jej tedy zcela eliminovat, ale pouze zpomalit. Pro zjištění stavu stavební konstrukce a zhodnocení degradace slouží mnoho indikátorů. Jedním z možných indikátorů, které určují stadium degradace stavebních materiálů v konstrukcích může být změna mechanických parametrů v čase. Za mechanické parametry je obecně považován soubor informací, popisujících odezvu materiálu na mechanické zatížení. Mezi nejzákladnější mechanické parametry patří pevnost v tlaku, pevnost v tahu (příčném, za ohybu, nebo v přímém tahu), pevnost ve smyku, statický modul pružnosti v tlaku a smyku. Pro podrobnější studium je třeba tento soubor doplnit dalšími parametry, například dynamickým modulem pružnosti, lomovou houževnatostí nebo lomovou energií a případně dalšími parametry. Pro stanovení mechanických parametrů je standardně užíváno normových postupů. V systému ČSN existují specifické předpisy pro stanovení jednotlivých parametrů pro konkrétní užívané stavební materiály (zdivo, beton, ocel, keramika, maltoviny, omítky a další). Všechny tyto zkoušky jsou až na několik výjimek vždy destruktivní a předpokládá se příprava zkušebních těles při realizaci konstrukcí nových, nebo odběr vzorku u konstrukcí stávajících. Častým požadavkem při studiu historických materiálů však je nenarušení nebo jen minimální zásah do zkoumané konstrukce a není-li možné uplatnit plně nedestruktivní metodu stanovení materiálových charakteristik, pak je nutno použít metodu sice destruktivní, ale maximálně šetrnou ke konstrukci. Destruktivní metody na stávajících konstrukcích obecně vyžadují odběr vzorku materiálu, na němž jsou posléze mechanické parametry stanoveny. Šetrná metoda odběru vzorku musí zaručit minimální možné poškození zkoumané konstrukce a následně umožnit uvedení do původního stavu v nejvyšší možné míře.

2. Cíl metodiky

Cílem metodiky je určení postupu pro šetrné destruktivní stanovení mechanických parametrů historických stavebních materiálů v konstrukcích za pomoci běžně užívaných metod materiálového zkušebnictví. Metodika je členěna na dvě části, první popisující šetrný odběr zkušebního tělesa z konstrukce a druhá zkoušky na tělese prováděné. Jedná se o modifikované zkoušky prováděné dle norem systému ČSN a EN na tělesech z běžných stavebních materiálů.

Metodika popisuje šetrný odběr vzorku z historického zdiva za pomoci „zařízení pro šetrný odběr vzorku, zejména historického zdiva“ (podána přihláška průmyslového užitného vzoru k ÚPV), postup zajištění místa odběru pomocí „zařízení pro zajištění stability historického zdiva při odběru vzorku“ a následný postup, jak s tímto vzorkem naložit. Popisuje výrobu zkušebních těles z odebraného vzorku

a následné navrácení odebraného vzorku do konstrukce tak, aby vzhled konstrukce byl jen minimálně narušen.

Metodika též doporučuje provést co možná nejširší soubor nedestruktivních zkoušek na vyjmutém prvku s cílem sestavení kalibračních křivek pro jednotlivé nedestruktivní metody. Typicky se jedná o metodu odrazového tvrdoměru (například pomocí přístroje Schmidt type LB pro zdicí prvky a Schmidt type PM pro maltu ve spárách), metodu ultrazvukové průchodové rychlosti a konkrétně pro zdivo metodu penetrační (např. pomocí přístroje PZZ 01). Těmito metodami konkrétně se zabývají další předpisy.

3. Popis metodiky

Metodika popisuje postup vyjmutí zkušební tělesa z historické konstrukce se zvláštním ohledem na způsobení minimálního poškození okolního zdiva. K tomu je využito speciální „zařízení pro šetrný odběr vzorku, zejména historického zdiva“, které bylo vyvinuto právě za tímto účelem. Zařízení je tvořeno stabilizačním rámem, kotveným pomocí stavitelných kotev do zdiva tak, aby kotvy byly umístěny ve spárách a nikoli ve zdicích prvcích. Po stabilizačním rámu se posouvá příčník se stavitelnou vrtací hlavou, která umožňuje provést přesně lokalizované dlouhé vrty maloprůměrovým vrtákem. Tyto vrty se provádějí po obvodu vyjímaného zdicího prvku v pravidelných rozestupech, v pořadí liché – sudé, čím dojde k odstranění maltového lože prvku, který je pak možno vyjmout. Prostor po vyjímaném prvku se zajistí proti deformaci „zařízením pro zajištění stability historického zdiva při odběru vzorku“. Pokud je požadavek na měření vlhkosti zdiva, je třeba jej provést ještě před odběrem vzorku, stejně jako zkoušky pevnosti malty v loži zdicího prvku, neboť tato malta bude při vyjímání zdicího prvku odstraněna.

Na odebraném tělese se provede soubor zkoušek, nejdříve z oboru NDT (tvrdoměrná zkouška, zkouška impulsní průchodové rychlosti), následně se z něj odebere vzorek pro destruktivní zkoušení. Při odběru vzorku pro destruktivní zkoušení je třeba zohlednit, že zdicí prvek bude navrácen do konstrukce, je tedy třeba odebírat zkušební tělesa z jeho nepohledové strany. Pro pravidelné zdicí prvky menších rozměrů (např. plné pálené cihly) je možné odběr zkušební tělesa provést odříznutím rubové části do tvaru trámečku (analogicky s postupem dle ČSN EN 772-1), je třeba vhodným způsobem zaznamenat orientaci vzorku ve zdivu, aby následná zatěžovací zkouška proběhla ve směru působení zdicího prvku v konstrukci. Na trámečku se provede zkouška pevnosti v tahu ohybem, na zlomcích následně pevnosti v tlaku, analogicky se zmíněnou ČSN EN 772-1, případně i měření modulu pružnosti a dalších mechanických parametrů. Pro zdicí prvky větších rozměrů nebo nepravidelného tvaru (kamenné zdivo) je možno provést odběr zkušební tělesa pomocí jádrového vrtání, preferovaný průměr vrtné korunky je 62 mm, vzniklé jádro průměru 54 mm umožní výrobu zkušební trámečku blízcího se normovému průřezu 40×40 mm.

Po odebrání zkušebních těles je možno zdicí prvek navrátit do konstrukce tak, že pohledová strana vzorku je neporušená a po obnovení maltového lože konstrukce nevykazuje známky poškození, které by běžně odpovídalo odběru zkušební tělesa (otvor po jádrovém vrtu apod.). Pokud je navíc proveden soubor zkoušek nedestruktivních metod, je možno na základě vzniklých kalibračních křivek provést plně nedestruktivní zkoušky na dalších místech konstrukce již bez odebírání vzorků, čímž se dále sníží nutnost zásahů do zkoušené konstrukce. Velkým benefitem je aktualizace kalibračních

křivek nedestruktivních metod pro historické stavební materiály, běžně dostupné křivky jsou převážně pro materiály moderní.

3.1.Vlastní metodika

Postup prací při určování mechanických parametrů historického zdiva pomocí šetrné destruktivní metody:

1. Vybrat vhodný zdící prvek k vyjmutí z konstrukce. Určený prvek musí splňovat několik kritérií: dostupnost pro šetrné vyjmutí (dostatečný prostor v okolí prvku – ukotvení stabilizačního rámu „zařízení pro šetrný odběr vzorku, zejména historického zdiva“, dostatečný prostor ve směru kolmém v líci zdiva – zajištění prostoru pro vrtání), reprezentativnost vzorku, ověření, že se nejedná o mimořádně zatížený prvek (např. pata klenby)
2. Prvek očistit – v případě omítaného zdiva s přihlédnutím k hodnotě omítek.
3. Provedení nedestruktivních zkoušek na prvku v konstrukci: měření vlhkosti elektrickým kapacitním vlhkoměrem, měření odrazovým tvrdoměrem na vlastním prvku, měření odrazovým tvrdoměrem malty ve spáře, měření malty ve spáře penetrační metodou. Tento krok není povinný, ale velmi důrazně doporučovaný.
4. Ukotvit stabilizační rám „zařízení pro šetrný odběr vzorku, zejména historického zdiva“ pomocí stavitelných kotev, rám rektifikovat do polohy rovnoběžné s lícem zdiva.
5. Postupným vrtáním maloprůměrovým vrtákem (dle tloušťky maltové spáry, obvykle vrták 6 nebo 8 mm) odvrtnat maltové lože po obvodu vyjímaného zdícího prvku. Je vhodné vrtat v rastru sudé – liché, případně ob dvě nebo tři díry.
6. Odstranit zbytky malty mezi jednotlivými vrty.
7. Opatrně vyjmout zdící prvek.
8. Otvor po vyjmutém zdícím prvku zajistit proti deformaci vložení a aktivací „zařízení pro zajištění stability historického zdiva při odběru vzorku“. Na jeho pracovní plochy vložit podložky odpovídající tloušťky, bezprostředně do kontaktu se zdivem pak podložku pryžovou. Zařízení má rozměr odpovídající cihle plně pálené, při vyjmutí jiného typu zdícího prvku je třeba tvar upravit pomocí tvarových podložek.
9. Na vyjmutém zdícím prvku provést nedestruktivní zkoušky – např. měření impulsní průchodové rychlosti, měření penetrační metodou. Pro penetrační metodu je třeba zvážit, že z rubu tělesa budou odebírány zkušební tělesa pro destruktivní zkoušky, může tedy být vhodnější penetrační zkoušku provést až po odběru zkušebních těles. Penetrační zkoušku je třeba provést z rubové, tj. nepohledové strany zdícího prvku tak, aby po jeho navrácení do konstrukce nebyly patrné stopy po penetrační zkoušce.
10. Odebrat zkušební těleso/tělesa z vyjmutého zdícího prvku. Pro prvky pravidelného tvaru a menších rozměrů (cihly) řezáním vyrobí zkušební trámečky o průřezu blízcím se 40×40 mm, pro prvky tvaru nepravidelného nebo velkých rozměrů odebrat zkušební vzorky pomocí jádrového vrtání, preferován je vrt korunkou o průměru 62 mm. Z tohoto jádrového odvrtnu je možno následně vyřezat trámeček o průřezu blízkém 40×40 mm (se zaoblenými rohy). Zkušební tělesa je třeba odebírat z rubové, tj. nepohledové strany vyjmutého zdícího prvku tak, aby po jeho navrácení do konstrukce nebyly patrné stopy po odběru vzorku.
11. Na zkušebních tělesech provést zkoušky analogicky s ČSN EN 772-1, tj. pevnost v tahu ohybem a pevnost v tlaku, případně modul pružnosti. Při těchto zkouškách je třeba respektovat směr zatížení vzorku v konstrukci, tj. zkoušku provádět ve směru zatížení.

12. Vyjmutý zdicí prvek navrátit do konstrukce, maltové lože prvku obnovit v nejvyšší možné míře co do funkčnosti i estetiky.

4. Srovnání novosti postupů

Metodika pro stanovení mechanických parametrů historických stavebních materiálů pomocí šetrné destruktivní metody doplňuje soubor plně nedestruktivních a destruktivních zkušebních metod. Oproti plně nedestruktivním způsobuje drobné poškození konstrukce, poskytuje však výrazně spolehlivější informaci o vlastnostech materiálu v konstrukci. Zároveň ale způsobuje výrazně menší zásah do konstrukce z hlediska vzhledu, než běžně používané destruktivní metody, založené na klasickém jádrovém vrtání z líce, přičemž poskytovaný soubor informací je prakticky totožný. Cenou za menší poškození konstrukce je vyšší pracnost metody a nároky na použití specializovaného zařízení („zařízení pro šetrný odběr vzorku, zejména historického zdiva“ a „zařízení pro zajištění stability historického zdiva při odběru vzorku“). Díky tomu, že metodika využívá nově zkonstruovaných přístrojů, je možné považovat ji za původní a postupy v ní popsané za v minulosti nepoužité.

5. Popis uplatnění certifikované metodiky

Metodika je určena zejména pro provádění diagnostiky materiálů historických stavebních konstrukcí, jmenovitě pro určení mechanických parametrů historického zdiva. V současnosti se ve světě nachází poměrně značné množství historických či dokonce památkově chráněných objektů, u kterých je třeba provádět průzkumy aktuálního stavu. Průzkumy se u těchto historicky cenných objektů provádějí za účelem získání údajů o aktuálním stavu těchto konstrukcí. Tyto údaje jsou nezbytné pro hodnocení stavu stávající konstrukcí, pro návrh opatření v případě rekonstrukcí, havárií a zesilování.

Hodnoty získané jako výsledek uplatnění této metodiky jsou využitelné jako vodítko při projektování rekonstrukcí historických objektů nebo posuzování vlivu výstavby probíhající v okolí historického objektu na něj.

6. Seznam související literatury

ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdicí prvky - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku

ČSN EN 1015-2 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt

ČSN EN 1015-11 Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku

ČSN 73 1373 Nedestruktivní zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu

ČSN EN 1052-1 Zkušební metody pro zdivo - Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku

ČSN EN 1052-2 Zkušební metody pro zdivo - Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu

ČSN EN 1052-3 Zkušební metody pro zdivo - Část 3: Stanovení počáteční pevnosti ve smyku

ČSN EN 1052-5 Zkušební metody pro zdivo - Část 5: Stanovení přídržnosti malty v ložné spáře v tahu za ohybu

ČSN EN 12504-1 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku

ČSN EN 12504-3 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 3: Stanovení síly na vytržení

ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích

ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí

WITZANY J., Poruchy a rekonstrukce zděných budov. 1. vydání Praha: ČKAIT, 1999

HOBST L. et al., Diagnostika stavebních konstrukcí, VUT v Brně, FAST, 2005

ČERMÁK F., PUME D., Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí. 1. vyd. Praha: ABF, 1993, 127 s.

SASSONI, E., MAZZOTTI, C.: The use of small diameter cores for assessing the compressive strength of clay brick masonries. *Journal of Cultural Heritage*, 2013,

SCHMID, P.: Základy zkušebnictví. Vyd. 2., opr. Brno: CERM, 2004

HOŁA, J. et al: Non-destructive and semi-destructive diagnostics of concrete structures in assessment of their durability: usual combinations of techniques. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences*, 2015

7. Seznam předcházejících publikací

ČERNÝ, R., 2012. Modelové a diagnostické předpoklady stanovení vlivu proměnlivého prostředí na degradaci historického zdiva, ČVUT v Praze, 2012, ISBN 978-80-01-05147-4

JERMAN, M. et al, 2013. Properties of plasters suitable for reconstruction of historical buildings, in: *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIII*, WIT Press, Southampton, pp. 369-378

VEJMEJKOVÁ, E. et al, 2013. Mechanical, hygric and thermal properties of building stones, in: *Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XIII*, WIT Press, Southampton, pp. 357-367

ČERNÝ, R., 2013. Počítačové a experimentální metody pro stanovení vlivu proměnlivého prostředí na degradaci historického zdiva, ČVUT v Praze, ISBN 978-80-01-05385-0