

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON BASIC MECHANICAL PROPERTIES OF THE SANDSTONE MASONRY**P. Bouška^{*}, M. Vokáč^{*}, J. Záruba^{*}, P. Štemberk^{*}**

Summary: Basic mechanical and physical properties of structural material sandstone and cretaceous marl were investigated in the laboratory of the Klokner Institute. These properties were determined on pattern material taken out from localities where most of the masonry elements were quarried and then used in historical structure of Charles Bridge in Prague or used in the act of repairing. Mortar properties would be studied on the specimens prepared according to recipes established by results of physico-chemical and mechanical analysis of historical mortar. The results of investigations are necessary input data for numerical modelling of historical structures.

1. Úvod

V laboratořích KÚ jsou v rámci výzkumného projektu experimentálně vyšetřovány základní vlastnosti zdicích prvků, malt a zkušebních těles zděných konstrukčních prvků. Část projektu je zaměřena na historické zdivo ze stavebního kamene, pískovce a opuky, využitého při stavbě a rekonstrukcích Karlova mostu v Praze. U kamenného zdiva je nedostatečná znalost materiálových veličin potřebných pro nově vyvíjené nelineární numerické modely. Jednak jsou to vlastnosti zdicích prvků a jednak vlastnosti použité malty. Cílem práce je formulování spolehlivých konstitutivních vztahů tohoto stavebního materiálu, tj. zdiva.

2. Příprava vzorků

Možnosti stavebně historického průzkumu významné stavební památky jsou velice omezené z hlediska etického i památkářského. Z tohoto důvodu jsou vzorky stavebního kamene odebírány pouze z lokalit, ve kterých byla těžena většina stavebního kamene použitého při stavbě a historických rekonstrukcích Karlova mostu. Pro stanovení vlastností malt jsou využívány nedestruktivní a šetrné způsoby odběru, schválené příslušným památkářským útvarem.

3. Vzorky stavebního kamene

Z předchozích odborných studií vyplývá, že z petrografického hlediska použité stavební zdicí prvky využitě pro stavbu Karlova mostu pocházejí z několika lokalit v České republice.

^{*} Doc. Ing. Petr Bouška, CSc., Ing. Miroslav Vokáč, Ing. Jan Záruba, CSc., Ing. Pavel Štemberk: Kloknerův ústav, ČVUT v Praze; Šolínova 7; 166 08 Praha 6 – Dejvice; tel.: +420.224 353 537, fax: +420.224 353 537; e-mail: mer_ustr@klok.cvut.cz

Stavební kámen nosné konstrukce Karlova mostu tvoří arkózové pískovce karbonského stáří z okolí Kamenných Žehrovic, pískovce permského stáří z okolí Českého Brodu, pískovce křídového stáří z okolí Brandýsa nad Labem, Nehvizd a Vyšehořovic, pískovce křídového stáří z Hloubětína, křemito-kaolinitový pískovec křídového stáří z Hořic a křemité pískovce křídového stáří z Božanova [1]. Jako výplňové zdivo je využit lomový kámen z opuky. Pro středověkou Prahu je nejvýznamnější zlatá opuka, což je vzácná součást bělohorské české křídly [2], která na bělohorské vyvýšenině je až 20 m mocná. Zlatá opuka se výrazně liší od ostatních hornin souborně nazývaných opuky. Počátkem 20. století se zlatá opuka těžila v Přední Kopanině.

V současné době probíhají zkoušky vzorků pískovce, který byl získán z lokalit v Kamenných Žehrovicích, Vyšehořovicích, v Božanově a v Hořicích. Zkoušky se provádějí na vzorcích pískovců, které nebyly ovlivněny působením atmosférických, biologických ani jiných mechanických vlivů. Pro stavby nejstarší byl využíván kámen z okolí Prahy a pro opravy prováděné v pozdějších dobách byl použit pískovec ze vzdálenějších oblastí.

4. Zkoušky stavebního kamene

Pro stanovení materiálových vlastností jsou využity jednak metody normované, jednak metody nestandardní. Jedná se o následující zkušební postupy:

- pevnost v jednoosém tlaku – na tělesech 40.40.40 mm podle ČSN EN 1926,
- pevnost v tlaku stanovená nedestruktivně – zkušebním sklerometrickým přístrojem ONIKS 2.4 se stanoví pevnost povrchových vrstev kamene,
- součinitel nasákavosti – na vzorcích 40.40.40 mm postupem podle ČSN EN 1925,
- pevnost za ohybu při soustředném zatížení – na vzorcích 50.30.200 mm postupem podle ČSN EN 12372,
- statický modul pružnosti v tlaku – na tělesech 50.50.200 mm postupem podle ČSN 72 1165,
- pevnost v prostém tahu – nestandardní postup KÚ, podle kterého je zkušební vzorek s rozměry 40.15.200 mm nalepen k úchytům kloubově upevněných v čelistech zkušebního stroje, tělese 40.15.200 mm; rozměry vzdorujícího průřezu 17.15 mm jsou upraveny řezem vysokotlakovým vodním paprskem,
- lomová energie – při zkoušce je odvozena lomová energie na zkušebním tělese se zářezem s rozměry 40.40.160 mm, postupem podle doporučení Rilem [3],
- teplotní roztažnost - nestandardní postup KÚ; délková změna je měřena v dilatometru s číselníkovým úchytkoměrem pro změnu teploty z 20°C a 80°C na bázi 250 mm,
- vlhkostní roztažnost - nestandardní postup KÚ; délková změna je měřena v dilatometru s číselníkovým úchytkoměrem nebo induktivními snímači na tělesech 40.40.300 mm,
- zkouška mrazuvzdornosti v mrazicím boxu,
- pevnost ve smyku kroucením - na zkušebních válcích ϕ 50 mm s výškou 100 mm.

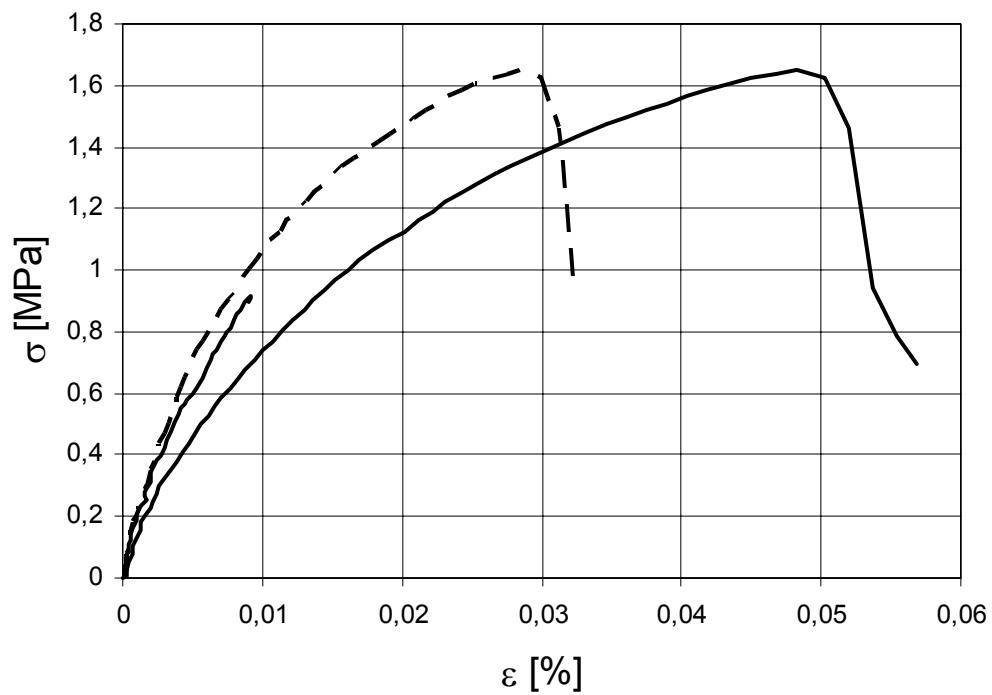
Pevnost v jednoosém tlaku a moduly pružnosti se stanovují ve stavu suchém i ve stavu nasyceném vodou. V tabulce tab. 1 je uveden souhrn stanovených veličin zjištěných z měření na třech až pěti zkušebních tělesech. Další zkoušky jsou připraveny a v současnosti probíhají [4].

Tab. 1 Vlastnosti stavebního kamene – pískovce

Měřená veličina (průměrná hodnota)	Lokalita		
	Božanov	Kamenné Žehrovice	Vyšehořovice
Modul pružnosti E [GPa]	21,50	30,67	19,97
Součinitel příčného přetvoření μ [-]	0,21	0,13	0,17
Lomová energie G_f [N.m ⁻¹]	113,1	165,5	60,0
Pevnost v ohybu za soustředěného zatížení R_{tf} [MPa]	5,3	9,5	3,1
Pevnost v prostém tahu R_t [MPa]	1,82	1,52	0,96
Pevnost v prostém tlaku R_c [MPa]	56,97	52,11	24,96
Součinitel teplotní roztažnosti α_t [10 ⁻⁶ .K ⁻¹]	12,3	12,0	11,3
Nasákavost w [%]	5,49	3,86	10,86

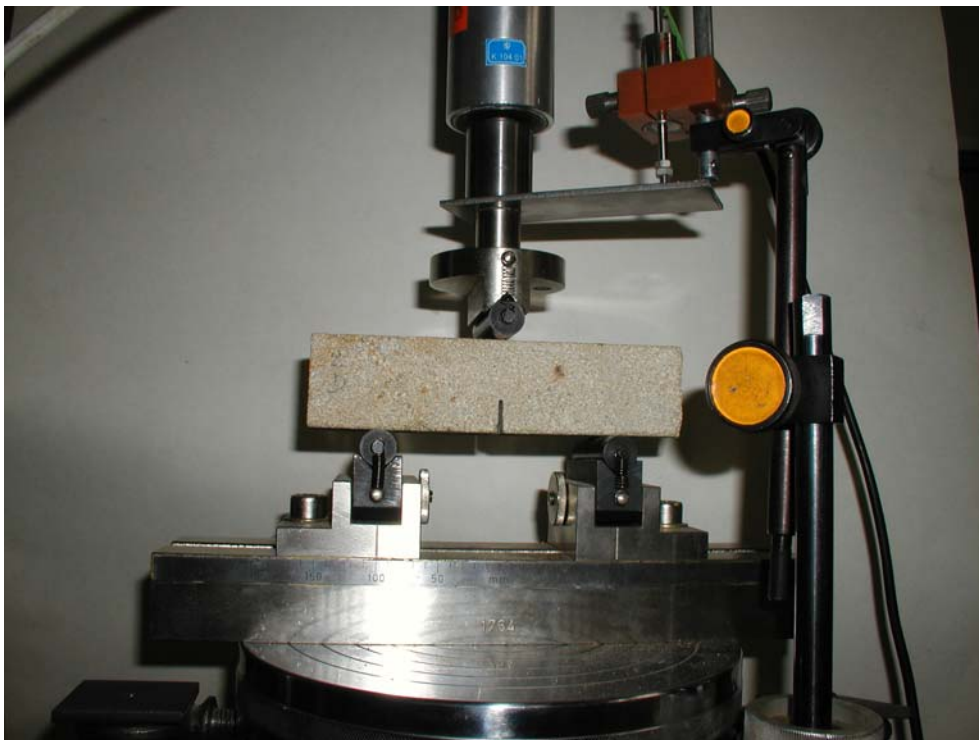


Obr. 1 Zkouška pevnosti v prostém tahu

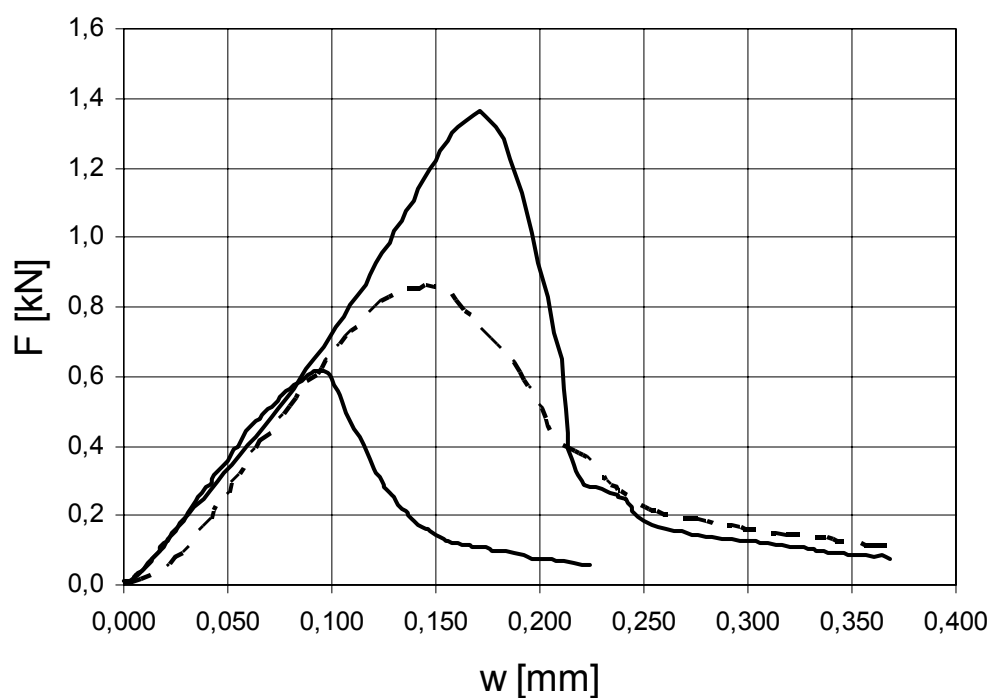


— — Božanov — — Kemenné Žehrovice — — Vyšehořovice

Obr. 2 Pracovní diagram v prostém tahu



Obr. 3 Zkouška lomové energie



— — Božanov — — Kemenné Žehrovice — — Vyšehořovice

Obr. 4 Závislost působící síly na průhybu při zkoušce lomové energie

5. Zkoušky zdicí malty

Materiálové zkoušky zdicích malt přímo na konstrukci omezují rozměry ložných i styčných spár a přípustné množství i velikost odebraného vzorku. Pro stanovení základních vlastností malt jsou využívány jednak metody mechanické, jednak metody chemické. Zkoušení pevností malt se provádí odvrťovacími nebo penetračními metodami.

Pevnost malty v tlaku lze odhadnout tzv. Kučerovou vrtačkou, kdy se měří hloubka vrtu. Energie při vrtání je pevně stanovena nastaveným počtem otáček a přítlakem pružiny. Zkušebním kladívkem Oniks 2.4 (NIIŽB Čeljabinsk) lze stanovit pevnost jemnozrnných materiálů v rozmezí 1 až 30 MPa z ověřeného kalibračního diagramu. Úderník přístroje působí rázovou energií 0,07 až 0,12 J na povrch zkoumaného materiálu a odezva je měřena elektronicky piezoelektrickým snímačem. Možnost použití této sklerometrické zkoušky je ale závislá na šířce spár. Je třeba ale mít na paměti, že docházelo v nedávné minulosti k opravám vyspárování zdiva moderními materiály na bázi cementu. Proto věrohodné výsledky pevnosti malt nelze získat zkoušením při povrchu konstrukce.

V laboratorních podmínkách se provádějí zkoušky zrnitosti kameniva, určuje se petrografické složení plniva, minerální složky pojiva RTG analýzou, silikátovou analýzou se popíše index hydraulicity a index cementace podle Poitona [5].

Mechanické vlastnosti malt se stanovují na zkušebních tělesech zhotovených podle receptur zjištěných analytickými metodami, obdobně jako u kamene.

6. Zkoušky zkušebních těles ze zdiva

V současné době probíhá příprava experimentálních zkoušek zkušebních těles ze zdiva z přírodního kamene. Bude zjišťována jednak smyková pevnost v ložných spárách postupem podle ČSN EN 1052-3, jednak bude experimentálně vyšetřována rovinná napjatost zděných těles zatížených ve své rovině (in-plane loading). Protože opuštěné historické lomy jsou přírodními památkami, nelze vytěžit velký objem kamene. Z toho důvodu bude nutné volit vhodné měřítko zkušebních těles.

7. Závěr

Velmi důležitými vstupními parametry nově vyvíjených nelineárních numerických modelů zděných konstrukcí jsou lomová energie, hodnoty pevností v prostém tlaku a tahu, modul pružnosti a součinitel příčného přetvoření. Experimentální činnost dává důležité podklady pro tyto modely. Znalosti těchto veličin staviv použitých v našich historických stavbách jsou zatím nedostatečné.

8. Poděkování

Tato práce vznikla z části za finanční podpory grantu GA ČR 103/04/1321 a z části byla podpořena prostředky výzkumného záměru MSM 210000004.

9. Literatura

- [1] Witzany, J., Odborné stanovisko k opravě a rekonstrukci Karlova mostu, ČVUT FSv, Praha, 1994
- [2] Kotlík, P. – Šrámek, J. – Kaše, J.: Opuka. STOP, Praha 2000.
- [3] Rilem FMC 1, Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of the three-point bend tests on notched beams, Rilem, Materials and Structures, 5-6/1985
- [4] Záruba, J. – Bouška, P. – Štemberk, P. – Vokáč, M.: Průběžná zpráva o sledování deformací z konstrukcí Karlova mostu a měření mechanicko-fyzikálních vlastností kamene z lokalit použitých při výstavbě mostu, ČVUT v Praze, KÚ, Praha, 2003
- [5] Štrouf R., G - studio Praha, Analýza malty odebrané z historického zdiva, Praha, 2004