

VĚDECKÉ SPISY VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO V BRNĚ

Edice Habilitační a inaugurační spisy, sv. 186

ISSN 1213-418X

Jiří Brožovský

**NEDESTRUKTIVNÍ
ZKUŠEBNÍ METODY
- NÁSTROJ PRO HODNOCENÍ
PEVNOSTÍ STAVEBNÍCH
MATERIÁLŮ A VÝROBKŮ**

Vysoké učení technické v Brně

Fakulta stavební

Ústav technologie stavebních hmot a dílců

Ing. Jiří Brožovský, CSc.

Nedestruktivní zkušební metody - nástroj pro hodnocení pevností stavebních materiálů a výrobků

Nondestructive Testing Methods – Testing Tool of Building Material/Product Strength

Zkrácená verze habilitační práce



BRNO 2005

Klíčová slova: nedestruktivní metody, tvrdoměrné metody, ultrazvuková impulsová metoda, kalibrační vztahy, pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, zámková dlažba, cihly plné, cihly děrované, cement

Key words: nondestructive methods, scleroscopic methods, ultrasonic pulse method, calibration relationships, compression strength, tensile bending strength, self blocking paving blocks, solid bricks, perforated bricks, cement

Místo uložení habilitační práce: Archiv PVO FAST VUT v Brně.

OBSAH

1	ÚVOD	6
2	NEDESTRUKTIVNÍ METODY ZKOUŠENÍ – ZHODNOCENÍ VYUŽITELNOSTI PRO ZKOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ	6
2.1	Nedestruktivní metody zkoušení kodifikované v českých technických normách	7
2.1.1	<i>Betony</i>	7
2.1.2	<i>Cihlářské výrobky pro zděné konstrukce</i>	7
2.1.3	<i>Přírodní kámen</i>	7
2.2	Charakteristika nedestruktivních metod zkoušení využívaných pro zjišťování pevností stavebních materiálů	7
2.2.1	<i>Tvrdoměrné metody</i>	8
2.2.2	<i>Dynamické metody</i>	8
2.2.3	<i>Současný stav ve využití nedestruktivních metod zkoušení pro zjišťování pevností cementů, zdících výrobků a vibrolisovaných betonových výrobků</i>	9
2.2.4	<i>Zhodnocení využitelnosti nedestruktivních metod zkoušení</i>	9
3	NENORMOVÉ NEDESTRUKTIVNÍ METODY PRO ZKOUŠENÍ PEVNOSTI BETONU V KONSTRUKCI	10
3.1	Špičákové metody	10
3.2	Metody místního porušení	10
3.2.1	<i>Metody místního porušení pro hodnocení betonu při výstavbě</i>	11
3.2.2	<i>Metody místního porušení pro zkoušení betonu v dokončených konstrukcích</i>	11
3.2.3	<i>Zhodnocení využitelnosti metod místního porušení</i>	11
4	ANALÝZA POSTUPŮ NEDESTRUKTIVNÍHO ZKOUŠENÍ A ZPŮSOBŮ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ODRAZOVÝCH TVRDOMĚRŮ	12
4.1	Způsob vyhodnocení výsledků nedestruktivních zkoušek.....	12
4.1.1	<i>Vyhodnocení zkoušek Schmidovým tvrdoměrem dle ČSN 73 1373</i>	12
4.1.2	<i>Vyhodnocení zkoušek odrazovým tvrdoměrem dle ČSN EN 12 504-2</i>	12
4.1.3	<i>Vyhodnocení zkoušek Schmidovým tvrdoměrem typu L postupem doporučeným výrobcem</i>	12
4.2	Analýza mezních hodnot odchylek odskoku tvrdoměru na zkušebním místě.....	12
5	METODIKA A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ NEDESTRUKTIVNÍCH ZKOUŠEK.....	14
5.1	ULTRAZVUKOVÁ IMPULSOVÁ METODA	14
5.1.1	<i>Cemety</i>	14
5.1.2	<i>Cihly plné a zámková dlažba</i>	15
5.1.3	<i>Vyhodnocení výsledků</i>	15
5.2	TVRDOMĚRNÉ METODY ZKOUŠENÍ.....	15
5.2.1	<i>Zkušební zařízení</i>	15
5.2.2	<i>Zkoušení</i>	16
5.2.3	<i>Výsledky měření</i>	16
5.3	Kalibrační vztahy	16
6	CEMENTY.....	17
6.1	bezšádrovcové cementy	17
6.2	Cemety na bázi portlandského slínku s přísadou regulace tuhnutí šádrovcem.....	18

7	KUSOVÉ ZDÍCÍ MATERIÁLY	19
7.1	Cihly plné pálené	19
7.2	Cihly voštinové	20
7.3	Vápenopískové cihly	20
8	BETONOVÉ DLAŽEBNÍ BLOKY (ZÁMKOVÁ DLAŽBA)	21
9	KALIBRAČNÍ VZTAHY	23
9.1	bezsádrcové cementy	23
9.1.1	<i>Pevnost v tlaku</i>	23
9.2	Portlandské cementy	23
9.2.1	<i>Pevnost v tlaku</i>	23
9.3	betonové dlažební bloky (zámková dlažba).....	23
9.3.1	<i>Pevnost v tlaku – UZ impulsová metoda</i>	23
9.3.2	<i>Pevnost v tlaku – odrazový tvrdoměr Schmidt, typ N</i>	23
9.4	cihly plné pálené	23
9.4.1	<i>Pevnost v tlaku – Waitzmannův tvrdoměr</i>	23
9.5	vápenopískové cihly	23
9.5.1	<i>Pevnost v tlaku – UZ impulsová metoda</i>	23
9.5.2	<i>Pevnost v tlaku – odrazový tvrdoměr Schmidt, typ L</i>	23
9.5.3	<i>Pevnost v tahu za ohybu – UZ impulsová metoda</i>	23
9.5.4	<i>Pevnost v tahu za ohybu – odrazový tvrdoměr Schmidt, typ L</i>	24
9.6	cihly voštinové.....	24
9.6.1	<i>Pevnost v tlaku – odrazový tvrdoměr Schmidt, typ LB</i>	24
10	ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	24
10.1	Cementy	24
10.2	cihly plné.....	24
10.2.1	<i>Tvrdoměrné metody</i>	24
10.2.2	<i>Ultrazvuková impulsová metoda</i>	25
10.3	Vápenopískové cihly	25
10.3.1	<i>Tvrdoměrné metody</i>	25
10.3.2	<i>Ultrazvuková metoda</i>	25
10.4	Cihly voštinové	25
10.5	betonové dlažební bloky (zámková dlažba).....	26
11	ZÁVĚR.....	26
12	POUŽITÁ LITERATURA (VÝBĚR).....	27
	ABSTRACT.....	29



Ing. Jiří Brožovský, CSc. (* 1954, Brno)

Autor je absolventem Vysoké školy stavební v Rostově nad Donem, Fakulta stavebně - technologická, obor Výroba stavebních dílců a konstrukcí (1978). Kandidátskou disertační práci na téma Využití konstrukčních betonů s pojivem MRVC ve vojenském stavitelství obhájil v roce 1989 na Vojenské akademii v Brně. Před působením na Vysokém učení technickém v Brně byl zaměstnán v TZUS Praha, pracoviště Brno (1978 až 1985), kde jeho činnost byla zaměřena do oblasti zkoušení, hodnocení a expertizních posudků cihlářských výrobků a maltovin. V období 1985 až 1994 byl zaměstnán na Vědeckovýzkumném stavebním pracovišti Vojenské akademie v Brně, zde se zabýval výzkumem a expertizní činností v oblasti stavebních materiálů, zkušebnictví a ekologie staveb a od roku 1992 byl i vedoucím státní zkušebny č. 222 pro zkoušení asfaltů. Na Vojenské akademii byl v období 1987 - 1993 zapojen i do pedagogické činnosti, kde přednášel a cvičil ucelené tematické bloky především předmětu Stavební hmoty a zkušebnictví. Na Ústavu technologie stavebních hmot a dílců Fakulty stavební VUT v Brně je zaměstnán od roku 1996, nejdříve jako vědecký pracovník a následně jako pedagogický pracovník. V oblasti pedagogické se podílí na výuce předmětu Technologické systémy, Zkušebnictví a technologie a je garantem předmětu Technologie betonu – laboratoře, dále je vedoucím diplomových prací a školitelem studentů doktorských studijních programů. Za svého působení na UTHD vychoval řadu absolventů oboru Materiálové inženýrství. Své zkušenosti předává i v rámci seminářů a kurzů pro odbornou veřejnost. Od roku 1999 je i metrologem akreditované zkušební laboratoře při Ústavu technologie stavebních hmot a dílců.

Je odborníkem v oblasti materiálového inženýrství, především se zaměřením na využití druhotných surovin ve stavebních materiálech z hlediska jejich trvanlivosti a na kompozity na bázi bezsádrovcových cementů, zkoušení stavebních materiálů, diagnostiky stavebních konstrukcí a v oblasti systému managementu jakosti a BOZP a environmentálního managementu. Pravidelně se účastní konferencí v České republice a zahraničí. Publikoval více jak 25 článků a příspěvků ve sbornících konferencí a časopisech v zahraničí. Je autorem či spoluautorem více než 65 článků a příspěvků ve sbornících konferencí a časopisech v ČR a na Slovensku. Je spoluautorem knihy Stavební vady od A do Z. Jeho aktivity jsou zaměřeny i do výzkumné činnosti, byl řešitelem či spoluřešitelem řady výzkumných úkolů, v současné době je členem řešitelského týmu dvou výzkumných záměrů a je řešitelem grantu od GAČR. Je autorem či spoluautorem více jak 35 výzkumných zpráv. Kromě pedagogické a výzkumné činnosti široce spolupracuje i s technickou praxí, zpracovává expertízy a posudky, technické podmínky, směrnice a metodiky využívané v různých organizacích, např. ČEZ, a. s., České dráhy. V oblasti systémů managementu úspěšně tyto zavedl u řady výrobců stavebních hmot a stavebních firem.

V roce 1994 se stal autorizovaným inženýrem v oboru „Zkoušení a diagnostika staveb“. Od roku 1997 je držitelem certifikátu pro „Nedestruktivní zkoušení ve stavebnictví“.

Ing. Jiří Brožovský, CSc. je kvalifikovaným vysokoškolským pedagogem a odborníkem v oblasti materiálového inženýrství, zkoušení materiálů a výrobků a systémů managementu. Svými aktivitami se podílí na rozvoji oboru materiálového inženýrství a zkušebnictví v České republice.

1 ÚVOD

Nedestruktivní metody zkoušení jsou v současné době ve stavební praxi v největším rozsahu využívány především při vyšetřování betonových a železobetonových konstrukcí. Konkrétně se jedná o zjišťování pevnostních charakteristik zabudovaných betonů, množství, tvar a rozmístění výztuže, v menším rozsahu jsou využívány pro zjišťování defektů konstrukcí či stejnoměrnosti zabudovaného betonu. Jejich použití pro betonové a železobetonové konstrukce je kodifikováno v českých technických normách ať již národního či evropského charakteru.

Pro ostatní druhy stavebních materiálů zabudovávaných v nosných konstrukcích staveb jsou využívány podstatně méně, kromě malty v ložných spárách zdiva a cihel plných, a to především z důvodu chybějících využitelných kalibračních vztahů umožňujících stanovení sledovaného parametru (např. pevnosti) z parametru nedestruktivního zkoušení a podpory v normativních dokumentech, které by kodifikovaly jak metodiku vlastního provádění zkoušek, tak i postupy vyhodnocení jejich výsledků.

Nedoceňovanou oblastí použití nedestruktivních metod zkoušení je jejich využití jako nástroje při hodnocení stavebních materiálů a výrobků v rámci mezioperační kontroly prováděné výrobcem. Vzhledem k tomu, že výrobci obvykle nedisponují svými zkušebními, mezioperační kontrola se omezuje pouze na sledování vzhledu, rozměru výrobků event. hmotnosti. Pevnostní charakteristiky jsou zjišťovány v omezeném rozsahu – při kontrolních zkouškách v externích zkušebnách. Jednou z možností zjišťování pevností produktů jsou nedestruktivní metody zkoušení, které umožňují rychlé zjištění parametru z nedestruktivního zkoušení, přičemž pořizovací náklady těchto zařízení jsou mnohonásobně nižší než u zařízení pro destruktivní zkoušky. Zásadním důvodem nevyužívání nedestruktivních metod zkoušení je absence potřebných kalibračních vztahů s dostatečnou těsností mezi sledovanou charakteristikou (zpravidla pevností) a parametrem z nedestruktivního zkoušení.

Další oblastí, kde jsou nedestruktivní metody zkoušení využívány prozatím v malém rozsahu, jsou výzkumné experimentální práce, přestože kvalifikované používání těchto metod je může zracionalizovat – minimalizovat počet vyráběných zkušebních těles.

Cílem práce bylo vytvořit předpoklady využití nedestruktivních metod zkoušení – tvrdoměrných a dynamických metod pro zjišťování pevností vybraných stavebních materiálů, konkrétně se jedná o kusové zdící materiály (cihly plně pálené, cihly děrované voštinové a vápenopískové cihly), cementy (bezsádrovcové cementy, cementy na bázi portlandského slinku s hlavní přísadou sádrovcem – portlandské cementy, směsné cementy a cementy pro zdění) a betonové dlažební bloky (zámková dlažba).

2 NEDESTRUKTIVNÍ METODY ZKOUŠENÍ – ZHODNOCENÍ VYUŽITELNOSTI PRO ZKOUŠENÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Je uveden přehled českých technických norem, které popisují zkoušení pomocí nedestruktivních metod pro vybrané stavební materiály. Dále je uvedena charakteristika vybraných nedestruktivních metod zkoušení využívaných ve stavební praxi a zhodnocena jejich využitelnost pro zjišťování pevností vybraných stavebních materiálů a výrobků (cihly plně pálené a děrované voštinové, vápenopískové cihly, zámková dlažba a cementy) jak z hlediska kontroly kvality ve výrobě, tak i z hlediska využitelnosti pro hodnocení pevností materiálů zabudovaných v konstrukcích.

2.1 NEDESTRUKTIVNÍ METODY ZKOUŠENÍ KODIFIKOVANÉ V ČESKÝCH TECHNICKÝCH NORMÁCH

Pro sledování vlastností materiálů a to jak při laboratorních zkouškách, tak i pro hodnocení materiálů zabudovaných v konstrukci jsou nedestruktivní metody kodifikovány v platných českých technických normách.

2.1.1 Betony

Základní ustanovení pro nedestruktivní zkoušení betonů jsou uvedena v ČSN 73 1370 a postupy pro nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí jsou popsány v ČSN 73 2011. ČSN 73 2011 popisuje využití nedestruktivních metod zkoušení pro ověřování vlastností betonových konstrukcí. Uvádí postupy pro vyšetřování betonových konstrukcí a určování jejich parametrů (pevnostní třída, homogenita betonu, moduly pružnosti betonu v konstrukci, zjišťování hloubky trhlin UZ metodou, poloha výztuže zjišťovaná elektromagnetickou sondou).

Jednotlivé nedestruktivní zkušební metody pro zkoušení betonu jsou uvedeny v ČSN 73 1371 až ČSN 73 1373 a ČSN EN 12504 – 2 (ultrazvuková impulsová metoda, rezonanční metoda a tvrdoměrné metody).

ČSN 73 1371 kodifikuje postup pro provádění zkoušek ultrazvukovou impulsovou metodou, požadavky na zařízení, způsob vyhodnocení, způsob vyhodnocení výsledků zkoušek. Uvádí vztah pro výpočet dynamického modulu pružnosti betonu z rychlosti šíření UZ impulsů. Pod čarou je uveden kalibrační vztah pro výpočet pevnosti v tlaku betonu s nezaručenou přesností.

ČSN 73 1372 uvádí postup nedestruktivního zkoušení betonu rezonanční metodou a pouze vztahy pro výpočet dynamického modulu pružnosti betonu z vlastních rezonančních frekvencí.

ČSN 73 1373 popisuje metodiku zkoušení betonu tvrdoměrnými metodami (odrazové, vtiskové, špičákové). Uvádí též kalibrační vztahy pro výpočet pevnosti betonu v tlaku s nezaručenou přesností z parametru nedestruktivního zkoušení pro jednotlivé metody a postup pro stanovení upřesněné pevnosti betonu v tlaku.

Jako podpůrné metody při hodnocení mrazuvzdornosti betonu resp. jeho odolnosti proti agresivním médiím jsou uváděny rezonanční a ultrazvuková metoda.

2.1.2 Cihlářské výrobky pro zděné konstrukce

Postupy pro zkoušení cihlářských výrobků pro zděné konstrukce pomocí nedestruktivních metod nejsou kodifikovány v žádné české technické normě.

2.1.3 Přírodní kámen

Pro zkoušení stavebního kamene jsou v českých technických normách kodifikovány postupy pro využití dynamických i tvrdoměrných metod zkoušení. Rezanční metoda je uvedena v ČSN EN 14146 (popisuje postup zkoušení, požadavky na zařízení, způsob vyhodnocení měření a stanovení dynamického modulu pružnosti), dynamický modul pružnosti zjištěný dle této normy je jedním z kritérií při hodnocení mrazuvzdornosti stavebního kamene zjišťované dle ČSN EN 12371. ČSN 72 1166 popisuje postup stanovení rychlosti šíření UZ impulsů v kameni, bez další návaznosti na jiné parametry kamene. V ČSN 72 1167 a ČSN EN 14205 je uveden postup pro zjišťování tvrdosti přírodního kamene.

2.2 CHARAKTERISTIKA NEDESTRUKTIVNÍCH METOD ZKOUŠENÍ VYUŽÍVANÝCH PRO ZJIŠŤOVÁNÍ PEVNOSTÍ STAVEBNÍCH MATERIÁLŮ

Nedestruktivní metody je možno využívat ke zjišťování řady parametrů stavebních materiálů a konstrukcí, především se jedná o fyzikálně - mechanické charakteristiky - pevnosti a moduly pružnosti. Podle principů, na kterém jsou založeny se tyto metody dělí na:

- tvrdoměrné,
- místního porušení,
- dynamické,
- radiační,
- elektrické a elektromagnetické,
- chemické metody,
- akustické metody.

I když existuje celá řada nedestruktivních metod zkoušení, pro zjišťování pevnosti materiálů, především však betonu, jsou využívány tvrdoměrné metody a metody místního porušení. Dynamické metody jsou využívány především pro zjišťování modulů pružnosti a jako podpůrný prostředek při hodnocení trvanlivosti materiálů. V dalším jsou popsány tvrdoměrné a dynamické metody z hlediska jejich využitelnosti pro zjišťování pevností cementů, vybraných kusových zdících staviv a vibrolisovaných betonových výrobků (zámkové dlažby).

2.2.1 Tvrdoměrné metody

Tvrdoměrné metody se využívají především pro zjišťování pevnosti v tlaku event. tvrdosti vyšetřovaných materiálů. Ve stavební praxi je jejich nejrozšířenější využití pro zkoušení pevnosti v tlaku betonu v konstrukcích. Otázka využití nedestruktivních metod pro zjišťování pevnosti ostatních materiálů není doposud uspokojivě řešena. Jejich použití se nevyklučuje za předpokladu zpracování příslušných metodických postupů a využitelných kalibračních vztahů pro určování pevnosti materiálu či výrobku z parametru nedestruktivního zkoušení.

Tvrdoměrné metody dělíme na tyto základní:

- odrazové (jsou založeny na odrazu pružného tělesa od povrchu materiálu)
- vtiskové (jsou založeny na měření vtisku vytvořeného ve vyšetřovaném materiálu zatlačením či zaražením tělesa definovaného tvaru)
- špičákové (podstata metody spočívá ve zjištění hloubky průniku špičáku do zkoušeného materiálu za definovaných podmínek)
- brusné (podstata metody spočívá v měření energie spotřebované na vybroušení stopy o určité délce a šířce ve zkoušeném materiálu)
- vrtací (podstata metody spočívá ve zjišťování hloubky průniku vrtacího nástroje do materiálu za definovaných podmínek - počet otáček, přítlačná síla).

Při výběru tvrdoměrných metod se vycházelo z těchto předpokladů:

- dostupnost zkušebního zařízení (rozšíření zařízení v technické praxi, servis, kalibrace)
- pořizovací náklady (náklady na pořízení a provozování zařízení)
- požadavky na odbornost obsluhy (složitost obsluhy, nároky a rozsah zaškolení k provádění a vyhodnocování zkoušek, vliv lidského faktoru na výsledky zkoušení)
- nároky na úpravu zkušebních míst resp. zkoušených vzorků (úprava zkušebních míst např. broušením)
- využitelnost (zkoušení v laboratoři, zkoušení konstrukcí).

2.2.2 Dynamické metody

Podstatou dynamických metod zkoušení je sledování šíření mechanického vlnění ve zkoumaném materiálu a následné odvození materiálových charakteristik, jako jsou dynamický modul pružnosti, Poissonův součinitel. Při zkoušení stavebních materiálů a konstrukcí se uplatňují především tyto metody : ultrazvuková impulsní metoda a rezonanční metoda, které mají podporu i v českých technických normách. Existují i další metody např. vibrační, akustická emise - tyto se

využívají především pro hodnocení vad konstrukcí či dílců. Běžně pro zkoušení pevnostních charakteristik nejsou využívány.

Mezi nejrozšířenější metody pro zkoušení stavebních materiálů patří :

- ultrazvuková impulsová metoda (podstata metody spočívá ve vysílání budičem opakovaných UZ impulsů do materiálu a v následném snímání prošlých impulsů vyšetřovaným materiálem, výstupem je rychlost šíření UZ impulsů a z ní vypočítaný dynamický modul pružnosti)
- rezonační metoda (princip spočívá ve vybuzení ve zkušební vzorku vlastních rezonančních frekvencí – podélných, příčných nebo kroutivých, výstupem jsou vlastní frekvence kmitání a z nich vypočítaný dynamický modul pružnosti event. Poissonův součinitel).

Důvodem neexistence obecného kalibračního vztahu pro určení pevnosti betonu v tlaku z parametrů uvedených dynamických metod je skutečnost, že tyto parametry jsou ovlivňovány řadou faktorů, především se jedná o vlhkost materiálu, vady ve struktuře, rozměry a tvar vzorků, nehomogenitu materiálu, ze kterého jsou vzorky vyrobeny. V případě rezonační metody sem patří ještě minimální rozšíření zkušebního zařízení v technické praxi a vyšší nároky na odbornou způsobilost pracovníka provádějícího zkoušky.

Vliv výše uvedených faktorů na pevnosti je rozdílný a ne vždy koreluje se zjištěnými parametry danou metodou.

2.2.3 Současný stav ve využití nedestruktivních metod zkoušení pro zjišťování pevností cementů, zdících výrobků a vibrolisovaných betonových výrobků

Pro cementy, vápenopískové cihly či zámkovou dlažbu nejsou v odborné literatuře uváděny kalibrační vztahy pro výpočet pevností v tlaku z parametru nedestruktivního zkoušení.

V technické praxi se sice vyskytují snahy o zjišťování krychelné pevnosti vibrolisovaných výrobků pomocí tvrdoměrných metod, ale navržené postupy jsou diletantské. Zpracovatel postupu aplikuje využití Schmidtova tvrdoměru na zkoušení zámkové dlažby či obrubníku přímo v dílci s ustanoveními ČSN 73 1373, aniž by zohlednil skutečnost, že u vibrolisovaných výrobků se nestanovuje krychelná pevnost betonu, ale pevnost v tlaku výrobku např. zámkové dlažby či únosnost např. obrubníků. Z tohoto důvodu zjištěná krychelná pevnost nemá žádnou vypovídací schopnost a zjištěné údaje jsou bezcenné.

Pro zjišťování pevnosti v tlaku s využitím tvrdoměrných metod zkoušení (Waitzmannův tvrdoměr, kuličkový tvrdoměr systému Baumann-Steinrück-Franck, Schmidtův tvrdoměr typu L, LB, P) cihel plných i děrovaných je v literatuře publikováno několik kalibračních vztahů, avšak jejich využitelnost je problematická, a to zejména z následujících důvodů. Jsou zpracovány pro dnes již téměř ve stavební praxi nepoužívaná zkušební zařízení, zkoušené vzorky měly tvar odlišný od požadovaného normou, kalibrační vztahy nevykazují dostatečnou těsnost korelace či nejsou potřebné údaje o rozsahu jejich využitelnosti.

2.2.4 Zhodnocení využitelnosti nedestruktivních metod zkoušení

Ze zhodnocení využitelnosti nedestruktivních metod zkoušení pro zjišťování pevnosti v tlaku cementů, vápenopískových cihel, cihel plných pálených a voštinových a zámkové dlažby vyplynulo :

- Z uvedeného přehledu českých technických norem je zřejmé, že v největším rozsahu jsou zavedeny české technické normy pro nedestruktivní zkoušení betonu.
- Pro normové tvrdoměrné metody jsou uvedeny i příslušné kalibrační vztahy pro stanovení pevnosti betonu v tlaku z parametru nedestruktivního zkoušení.

- Rezonanční metoda resp. UZ impulsová metoda je zahrnuta v normách pro sledování trvanlivosti resp. odolnosti materiálů (beton, přírodní kámen).
- Využití nedestruktivních metod pro zkoušení vlastností cihlářských výrobků pro svislé konstrukce, cementů a vibrolisované betonové výrobky není v ČSN kodifikováno.
- Pro cihly plné jsou uváděny kalibrační vztahy pro určení jejich pevnosti v tlaku při použití různých tvrdoměrných metod avšak jejich praktická využitelnost je problematická a ve většině případů se neuvádí metodika zkoušení a vyhodnocování výsledků zkoušek.
- Z hlediska vytvoření předpokladů pro zjišťování pevností cementů, kusových zdících staviv a vibrolisovaných betonových výrobků v technické praxi při mezioperační kontrole ve výrobě nebo pro některé materiály i v konstrukci, se jeví z jako účelné využití tvrdoměrných odrazových a vtiskových metod a z dynamických metoda ultrazvuková. Základním předpokladem využití těchto metod je zpracování příslušných kalibračních vztahů, metodiky provádění zkoušek a postupů pro vyhodnocování jejich výsledků.

3 NENORMOVÉ NEDESTRUKTIVNÍ METODY PRO ZKOUŠENÍ PEVNOSTI BETONU V KONSTRUKCI

Za nenormové metody jsou v tomto případě považovány metody, které nejsou kodifikovány v českých technických normách.

Pro stanovení pevnosti betonu v tlaku se v našich podmínkách nejčastěji používá normových tvrdoměrných metod. Jejich výsledky se zpravidla upřesňují na základě destruktivních zkoušek válcových zkušebních těles upravených z jádrových vývrtů odebraných z vyšetřované konstrukce.

Pro rychlé informativní stanovení pevnosti betonu v tlaku se často ve stavební praxi využívá špičáků (prof. Cigánek, ing. Mašek).

Ve světě se ve zkušební praxi poměrně rozšířily metody místního porušení, které v sobě slučují přednosti destruktivních a nedestruktivních metod.

3.1 ŠPIČÁKOVÉ METODY

Podstata zkoušky spočívá v zaražení špičáku definovaného tvaru, palicí (kladivem) dané hmotnosti, stanovenými počtem úderů s předepsaným rozmachem.

Předností metody špičákového tvrdoměru jsou:

- nenáročné zařízení (špičák, palice, měřidlo délky)
- rychlé a operativní provádění zkoušek
- malá citlivost na karbonataci vrstev i ke změnám jeho vlhkosti
- možnost zkoušení i na nerovném povrchu (není nutno obrušovat zkušební místa)

Nevýhodou jsou problémy s dodržováním požadavku na definovanou energii rázu (úderu), které do jisté míry závisí na subjektivním přístupu osoby, provádějící zkoušku.

Pro špičáky prof. Cigánka a ing. Maška jsou k dispozici potřebné obecné kalibrační vztahy pro určení pevnosti v tlaku betonu z hloubky zaražení špičáku, zjištěné pevnosti mají pouze informativní charakter.

Využití špičákových metod je především vhodné pro betony s pevností v tlaku do 12 MPa. Není vyloučeno zkoušení betonů i vyšších pevností, avšak významně klesá přesnost odhadu jejich pevnosti. Jsou to jediné nedestruktivní metody, kterými lze získat poměrně korektní informaci o pevnosti betonu v tlaku v oblasti 5–12 MPa.

3.2 METODY MÍSTNÍHO PORUŠENÍ

Metody místního porušení umožňují zkoušení i ve špatně přístupných částech konstrukce. Mají sice destruktivní charakter – dochází k místnímu porušení zkoušené konstrukce, ale jeho rozsah je z celkového objemu konstrukce obvykle zanedbatelný a vzniklé porušení neovlivní její funkci.

Výhodou zkoušení metod místního porušení je, že dochází k porušení zkoušeného materiálu. Z toho vyplývá určitá fyzikální podobnost měřeného parametru s parametry zjišťovanými při destruktivních zkouškách, jejichž výsledky jsou pro hodnocení kvality betonu i spolehlivosti konstrukce rozhodující. Z hlediska jen lokálního malého porušení konstrukce umožňují volit větší četnost než destruktivní zkoušky.

Metody místního porušení v České republice jsou zatím využívány ve velmi omezeném rozsahu. Hlavním důvodem jsou vysoké pořizovací náklady zkušebního zařízení, nedostatečné ověření uváděných kalibračních vztahů pro určení pevnosti, jakož i chybějící zkušební předpis.

3.2.1 Metody místního porušení pro hodnocení betonu při výstavbě

Podstata těchto metod spočívá převážně v umístění speciálních ocelových přípravků (trny, kotvy) do konstrukce před vlastní betonáží, jejich zabetonování a po zatvrdnutí betonu jejich vytrhávání v požadovaném stáří pomocí hydraulické aparatury. Při zkoušce se zjišťuje síla nezbytná pro vytržení zabudovaného přípravku, z její hodnoty pomocí příslušného kalibračního vztahu se určuje odpovídající válcová nebo krychelná pevnost. Tyto metody se v řadě zemí používají pod různými názvy. Konkrétně se jedná o :

- Pull – out test (ASTM C 900-82, ISO/DID 8046)
- LOK – TEST (EN 12504-3)
- Internal fracture test
- Vytrhávání ocelového trnu (GOST 21243 – 73).

3.2.2 Metody místního porušení pro zkoušení betonu v dokončených konstrukcích

Předností těchto metod je, že umožňují operativní volbu zkušebních míst na konstrukci (podle různých hledisek). Nevyžadují zabudování zkušebních přípravků před betonáží, ale až jejich dodatečnou instalaci. Jsou založeny na různých principech - vytrhávání dodatečně zabudovaného trnu, odlamování hrany, vytrhávání nebo vylamování jádrového návrtu.

Ve stavební praxi pro určování pevnosti betonu v tlaku stávajících konstrukcí jsou užívány především tyto metody místního porušení:

- Metoda vytrhávání ocelového trnu - CAPO-TEST (EN 12504-3)
- Metoda odlamování hrany betonu (GOST 22690.4-77)
- Metoda vytrhávání válce (zařízení vyrábí firma Schenk Trebel)
- Vylamovací metoda (Break – off method).

3.2.3 Zhodnocení využitelnosti metod místního porušení

Uvedené metody místního porušení jsou využitelné pro kompaktní materiály a výrobky (materiály bez dutin) a dostatečných rozměrů. Jejich využití ke zjišťování pevností výrobků při mezioperační kontrole ve výrobě je problematické, zejména důvodu nutnosti vytvoření zařízení pro upnutí výrobku k zajištění stejných podmínek zkoušení, složitější přípravy vzorku pro zkoušku event. pravděpodobnosti destrukce při provádění návrtů u výrobků malé tloušťky.

4 ANALÝZA POSTUPŮ NEDESTRUKTIVNÍHO ZKOUŠENÍ A ZPŮSOBŮ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ODRAZOVÝCH TVRDOMĚRŮ

Pro zabezpečení opakovatelnosti zkoušek a reprodukovatelnosti výsledků je nezbytné stanovit jednoznačná pravidla pro jejich provádění a vyhodnocení. Zkoušet a vyhodnocovat výsledky ze zkoušení odrazovými tvrdoměry lze postupy dle ČSN 73 1373 a ČSN EN 12504 – 2 event. postupem doporučeným výrobcem tvrdoměru.

4.1 ZPŮSOB VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ NEDESTRUKTIVNÍCH ZKOUŠEK

Zde jsou popsány 3 způsoby vyhodnocení výsledků zkoušek – dle ČSN 731373, ČSN EN 12504-2 a dle postupu doporučeného výrobcem k tvrdoměru typu L/LB.

4.1.1 Vyhodnocení zkoušek Schmidtovým tvrdoměrem dle ČSN 73 1373

Postup vyhodnocení měření a stanovení pevnosti v tlaku uvedený v normě ČSN 73 1373 je následující:

- Na každém zkušebním místě se provede nejméně 5 platných měření.
- Ke každé hodnotě odskoku se přiřadí pevnost v tlaku s nezaručenou přesností dle obecného kalibračního vztahu.
- Hodnoty pro jednotlivá platná měření se nesmí lišit od aritmetického průměru o více než $\pm 20\%$. Pevnosti, které vybočují z těchto mezních odchylek se vyloučí a ze zbývajících platných měření (opět alespoň 5) se znovu stanoví aritmetický průměr.
- Pevnost betonu v tlaku na zkušebním místě se stanoví jako aritmetický průměr z platných měření.

4.1.2 Vyhodnocení zkoušek odrazovým tvrdoměrem dle ČSN EN 12 504-2

Postup vyhodnocení měření tvrdosti uvedený v ČSN EN 12504-2 je následující.

Výsledkem zkoušky je střední hodnota ze všech čtení, při jejichž případné úpravě se bere v úvahu směr působení tvrdoměru podle pokynu výrobce, a vyjádří se jako celé číslo.

Jestliže více než 20 % všech čtení se liší od střední hodnoty o více než 6 jednotek, pak celá sada čtení musí být zamítnuta.

Výsledkem nedestruktivního zkoušení podle ČSN EN 12504-2 je tvrdost materiálu, nikoliv jeho pevnost. Tu je možno odvodit podle vztahu dodávaného výrobcem přístroje, nemá pak ale stejnou váhu jako výsledky destruktivních zkoušek.

4.1.3 Vyhodnocení zkoušek Schmidtovým tvrdoměrem typu L postupem doporučeným výrobcem

Na zkušební ploše se provede požadovaný počet měření a vypočte se aritmetický průměr zjištěných hodnot odskoků. Následně se vyloučí hodnoty odskoku, které se od střední hodnoty odrazu liší o více než 5 hodnot a jsou okamžitě nahrazeny novými. Z těchto hodnot se opět vypočítá průměrný odskok pro dané zkušební místo.

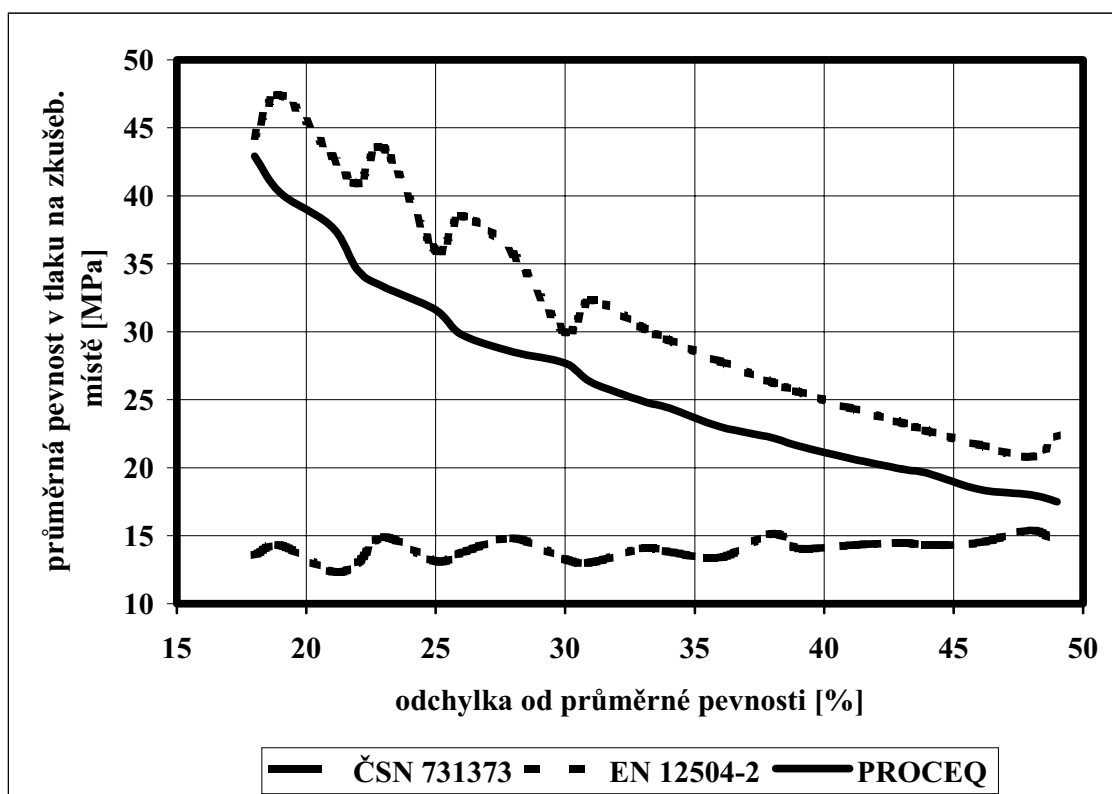
4.2 ANALÝZA MEZNÍCH HODNOT ODCHYLEK ODSKOKU TVRDOMĚRU NA ZKUŠEBNÍM MÍSTĚ

Vyhodnocení výsledků zkoušek vyžaduje stanovení podmínek pro vyloučení odlehlých naměřených hodnot, které se po zkoušení na zkušebním místě vyskytnou. Postupy pro vyloučení odlehlých hodnot uváděné v ČSN i v návodu výrobce používaných tvrdoměru jsou rozdílné. Byla

provedena analýza jednotlivých postupů vyhodnocování s cílem kodifikovat optimální postup, který bude využíván při vyhodnocení výsledků zkoušení pevností kusových zdících materiálů i zámkové dlažby. Výsledky analýzy jsou uvedeny v tabulce 1, zde jsou uvedeny v absolutních hodnotách mezní odchylky odrazů resp. pevnosti v tlaku od průměrné hodnoty na zkušebním místě pro Schmidtův tvrdoměr typu L pro způsoby vyhodnocení popsané v oddíle 4.1. Pro ilustraci jsou v obrázku 1 graficky znázorněny maximální hodnoty mezních odchylek pevností od průměrné hodnoty pro uvedené postupy vyhodnocení.

Tab. 1 : Mezní odchylky odrazu, resp. pevnosti v tlaku od průměrné hodnoty pro jednotlivé způsoby vyhodnocení

Meze dle :	ODRAZY						PEVNOSTI V TLAKU					
Hodnota odrazu	20	20	40	40	Ø pro 20-40		20	20	40	40	Ø pro 20-40	
Odchylka od Ø	δ_{\min}	δ_{\max}	δ_{\min}	δ_{\max}	a_{\min}	a_{\max}	R_{\max}	R_{\max}	R_{\min}	R_{\max}	R_{\min}	R_{\max}
	Odchylka o s průměru vyjádřená v procentech											
ČSN 731373	15,6	13,6	14,5	14,5	14,0	14,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
ČSN EN 12054-2	30,0	30,0	15,0	15,0	20,9	20,9	50,0	54,6	20,4	22,4	30,5	31,7
PROCEQ	25,0	25,0	12,5	12,5	17,4	17,4	41,1	42,9	17,1	17,5	25,7	26,8



Obr. 1: Maximální odchylky od průměrné pevnosti v tlaku na zkušebním místě

Ze zhodnocení postupů vyhodnocení nedestruktivních zkoušek odrazovými tvrdoměry vyplývá:

- Jednotlivé způsoby vyhodnocení se vyznačují značně odlišnými přípustnými odchylkami na zkušebním místě, ať už se jedná o odskoky či pevnosti v tlaku.
- Pro Schmidtův tvrdoměr typu L nejmenší průměrné odchylky připouští vyhodnocení dle ČSN 731373, největší naopak vyhodnocení postupem dle ČSN EN 12054-2.

- Jednotlivé způsoby vyhodnocení se výrazně liší v množství tolerovaných neplatných měření. Při postupu dle výrobce je jejich počet nulový, neboť jsou okamžitě nahrazena novými, platnými, ČSN EN 12054-2 připouští méně než 20 % podíl neplatných měření, zatímco ČSN 73 1373 vůbec nestanovuje jejich maximální počet, je stanoven pouze minimální počet platných hodnot.
- Pro vyhodnocení výsledků nedestruktivních zkoušek byly zvoleny meze povolených odchylek (maximální a minimální) od průměrné hodnoty odskoku na zkušebním místě $\pm 13 \%$, tj. spodní mez je 87 % z průměrné hodnoty a horní mez je 113 % z průměrné hodnoty odskoku na zkušebním místě. Těmto odchylkám odpovídá odchylka od průměrné pevnosti v tlaku na zkušebním místě cca 20 % což lze považovat za prakticky přijatelnou hodnotu rozptylu pevností na zkušebním místě.

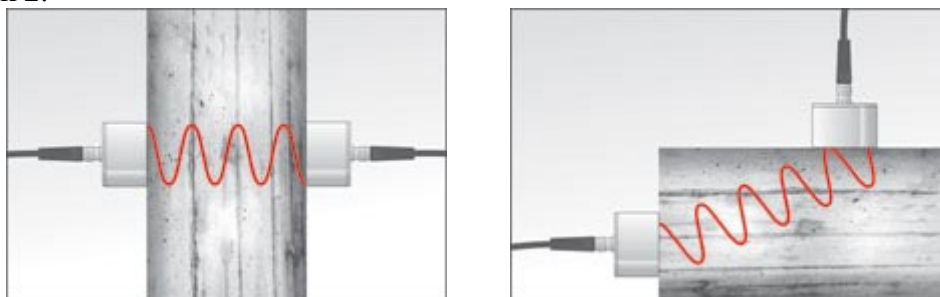
5 METODIKA A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ NEDESTRUKTIVNÍCH ZKOUŠEK

Pro vytvoření předpokladů pro nedestruktivní zjišťování pevností cementů, zámkové dlažby a kusových zdících staviv, konkrétně cihel plných pálených, vápenopískových cihel a cihel voštinových s využitím tvrdoměrných metod (Schmidtův tvrdoměr L/LB, Waitzmannův tvrdoměr) a ultrazvukové impulsové metody je třeba znát nejen hodnoty parametru nedestruktivního zkoušení pro zkoušený produkt, ale i jeho skutečnou pevnost zjištěnou destruktivně ve zkušebním lisu pro provedení nedestruktivních zkoušek.

Destruktivní zkoušky vyšetřovaných produktů byly prováděny postupy kodifikovanými v příslušné české technické normě : cementy - ČSN EN 196-1, cihly – ČSN 72 2603 a ČSN EN 772 – 1 , zámková dlažba – ČSN 73 6131 – 1.

5.1 ULTRAZVUKOVÁ IMPULSOVÁ METODA

Touto metodou byla zkoušena zkušební tělesa vyrobená z cementů, cihly plné pálené i vápenopískové a zámková dlažba. Metodika zkoušení a vyhodnocení výsledků vycházela z ustanovení příslušné ČSN, pro jednotlivé zkoušené materiály byly stanoveny doplňkové upřesňující požadavky pro zabezpečení opakovatelnosti a reprodukovatelnosti výsledků měření. Měření doby průchodu UZ impulsů se provádí protilehlým event. šikmým prozvučováním (cihly) – viz obrázek 2.



Obr. 2: Postup měření při protilehlém a šikmém prozvučování

5.1.1 Cementy

Reálnost využití této metody pro zjišťování pevnosti cementů vychází z těchto předpokladů :

- Konstantní tvar zkušební tělesa (trámeček 40 .40.160 mm)
- Konstantní poměr složek cementové malty (cement : plnivu = 1:3, vodní součinitel V/C= 0,5)

- Přesně definované parametry plniva cementové malty (křemičitý normový písek definované granulometrie a složení)
- Jednoznačně definovaný způsob výroby zkušebních těles (předepsaná výrobní zařízení a způsob zpracování)
- Přesně definované podmínky na uložení zkušebních těles do doby zkoušení (teplota, vlhkost).

Pro zkoušení cementů byly stanoveny následující doplňující požadavky :

- Pro zabezpečení reprodukovatelnosti výsledků měření je třeba, aby vzorky do doby zkoušení byly uloženy v normovém prostředí o teplotě $t = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkosti $\varphi \geq 95 \%$ a po odformování byly uloženy ve vodním uložení o teplotě $t = 20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- Zkušební vzorky se z tohoto prostředí vyjmou těsně před zkouškou, kdy se zváží, osuší a ihned se provede měření.

5.1.2 Cihly plné a zámková dlažba

Pro zkoušení cihel plných byly stanoveny následující doplňující požadavky :

- Úprava výrobku před zkouškou – v případě, že na některé ze zkušebních ploch jsou nerovnosti či rýhování, tyto se odstraní broušením (často se vyskytuje u cihel plných).
- Do doby zkoušení po dobu min. 48 hodin musí být cihly uloženy v prostředí s relativní vlhkostí do 60 % a s teplotou prostředí $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ a zámková dlažba musí být do doby zkoušení chráněna PE – fólií a uložena v prostředí s teplotou $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$. V žádném případě nesmí být zkoušeny výrobky saturované vodou.
- Při protilehlém prozvučování se u cihel měření provádí po délce ve 3 zkušebních dráhách, po šířce v 5 zkušebních dráhách, u zámkové dlažby minimálně ve 4 zkušebních dráhách.
- U cihel plných při šikmém prozvučování se měření provádí v 6 zkušebních dráhách pro jeden roh výrobku. Při prozvučování pouze přes 1 roh musí být provedeno měření minimálně na 8 zkušebních místech.

5.1.3 Vyhodnocení výsledků

Pro každé zkušební místo se vypočítá rychlost šíření UZ impulsů a následně průměrná rychlost pro zkoušený výrobek. Hodnoty lišící se o více jak $\pm 5 \%$ od průměrné hodnoty se vyloučí. Aby mohl být výrobek zařazen do hodnoceného souboru musí být platných minimálně 6 měření (cihly plné) a 3 měření (zámková dlažba).

5.2 TVRDOMĚRNÉ METODY ZKOUŠENÍ

Zkoušení kusových zdících materiálů bylo prováděno Schmidtovými tvrdoměry typu L/LB a Waitzmannovým tvrdoměrem, zámková dlažba byla zkoušena Schmidtovým tvrdoměrem typu N a L. Zkoušení se provádí v souladu s ČSN EN 12504-2 resp. ČSN 731373, odlišnosti v postupech od této normy jsou popsány níže.

5.2.1 Zkušební zařízení

- Odrazový tvrdoměr systému Schmidt, typ N, L, LB (typ N a L se liší energií rázu, typ LB má kulovitě ukončený razník) – musí splňovat požadavky ČSN EN 12504-2
- Waitzmannův tvrdoměr se srovnávací tyčkou – musí splňovat požadavky ČSN 73 1373
- Zařízení pro upnutí vzorků umožňující jejich nehybné upnutí.

5.2.2 Zkoušení

- Zámková dlažba - zkoušky se provádí na spodní vodorovné ploše
- Cihly plné a voštinové – zkoušky se provádí na svislých plochách.
- Zámková dlažba – minimální počet měření 10.
- Cihly plné a voštinové – minimálně 16 (výroba), 7 (konstrukce)

5.2.3 Výsledky měření

Výsledkem měření je soubor hodnot odrazů resp. vtisků na zkoušeném výrobku.

- Ze souboru jednotlivých hodnot parametru nedestruktivního zkoušení N_{zi} (odraz α nebo poměr β) zjištěných na výrobku se vypočítá průměrná hodnota odrazu na výrobku N_z .
- Pro soubor hodnot N_{zi} na výrobku se vypočítá horní a spodní mez, která je $\pm 13\%$ od střední hodnoty, tzn. že hodnoty N_{zi} leží v intervalu 0,87 až 1,13 x střední hodnota N_z na výrobku.
- Hodnoty pevnosti N_{zi} ležící mimo tento interval se vyloučí. Ze zbývajících hodnot se znovu vypočítá střední hodnota.
- Zjištěné střední hodnotě N_z na zkušební ploše se přiřadí odpovídající hodnota pevnosti v tlaku s nezaručenou přesností f_c dle příslušného kalibračního vztahu. Jestliže po vyloučení odlehlých hodnot N_z zůstane méně než předepsaný počet platných hodnot, zkoušený výrobek se vyloučí a nahradí se novým.
- Zámková dlažba – minimální počet platných měření 8
- Cihly plné a voštinové – minimální počet platných měření 12 (výroba), 5 (konstrukce)
- K výsledné průměrné hodnotě odrazu resp. poměru β se přiřadí pevnost v tlaku dle příslušného kalibračního vztahu
- Hodnota pevnosti v tlaku f_c se udává na 0,5 MPa (cihly) resp. 1 MPa (zámková dlažba).

5.3 KALIBRAČNÍ VZTAHY

Kalibrační vztahy se stanoví z naměřených bodů metodami matematické statistiky nebo jiným odpovídajícím způsobem. V daném případě je využívána metoda nejmenších čtverců. Kalibrační vztahy mohou být vyjádřeny regresní křivkou nebo přímkou.

Při kategorizaci a definici kalibračních vztahů se vycházelo z ČSN 73 1370, která rozeznává tyto typy kalibračních vztahů :

- obecný kalibrační vztah – odvodí se ze zkoušek provedených minimálně na 300 zkušebních vzorcích různého původu a technologie zpracování tak, aby sledované vlastnosti byly stejnoměrně rozloženy v pravidelných intervalech v celém oboru sledované vlastnosti.
- směrný kalibrační vztah – odvodí se ze zkoušek provedených minimálně na 100 zkušebních vzorcích, které byly provedeny na vybraných vzorcích a vybranými technologiemi.
- určující kalibrační vztah – odvodí se ze zkoušek provedených minimálně na 12 zkušebních vzorcích pro sledovanou pevnostní třídu resp. značku při dané technologii výroby a použitých surovinách.

Využitelnost kalibračních vztahů je hodnocena pro přímkové závislosti koeficientem korelace, který z hlediska praktické využitelnosti musí být nejméně 0,85 lépe však 0,90, pro závislosti vyjádřené regresní křivkou reziduální směrodatnou odchylkou, které nesmí být větší než 0,12 a uvnitř svého rozsahu nenabývá extrémní hodnoty.

6 CEMENTY

Pro zpracování kalibračních vztahů byly provedeny destruktivní zkoušky a nedestruktivní měření (UZ impulsová metody) pro stanovení kalibračních vztahů mezi pevností a parametrem z nedestruktivního zkoušení, v daném případě rychlostí šíření UZ impulsů.

6.1 BEZSÁDROVCOVÉ CEMENTY

Bezsádrovcové cementy jsou pojiva na bázi portlandského slínku, ve kterých je regulátor počátku tuhnutí používán v obyčejných portlandských cementech nahrazen systémem regulace tuhnutí, založeném na vhodném poměru uhličitanu alkalického kovu (zpravidla Na_2CO_3 nebo K_2CO_3) a přísady na bázi sulfitových výluhů a slínek je pomlet na vyšší měrný povrch než je obvyklé u obyčejných portlandských cementů (minimální měrný povrch $S = 365\text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$).

Vývoj bezsádrovcových cementů byl zahájen v bývalém Československu v 70. letech. Postupně byla vyráběna pojiva pod různými názvy a s různými parametry, konkrétně :

- Modifikovaný rychlovazný cement (MRVC) - MRVC podle jemnosti mletí a dosahovaných pevností byl rozdělen do 5 tříd (0 - IV) s $S \in (300; 1000 \text{m}^2\text{kg}^{-1})$.
- V období 1988 - 1989 bylo poloprovazně vyráběno bezsádrovcové pojivo s výše uvedeným systémem regulace tuhnutí a měrným povrchem $S > 550 \text{m}^2\text{kg}^{-1}$ pod označením RVCT.
- V roce 1988 byla v cementárně Prachovice zavedena výroba bezsádrovcového cementu označeného BSRVC.
- Od roku 1990 bylo vyráběno pojivo NOYEMENT v 5 třídách, podle jemnosti mletí odpovídající třídám MRVC.
- V současné době je v omezeném objemu vyráběno bezsádrovcové pojivo. pod obchodním názvem BS55h firmou SAPOL s.r.o. Je používán slínek z cementárny Prachovice a systém regulace tuhnutí obdobný jako u BS RVC.

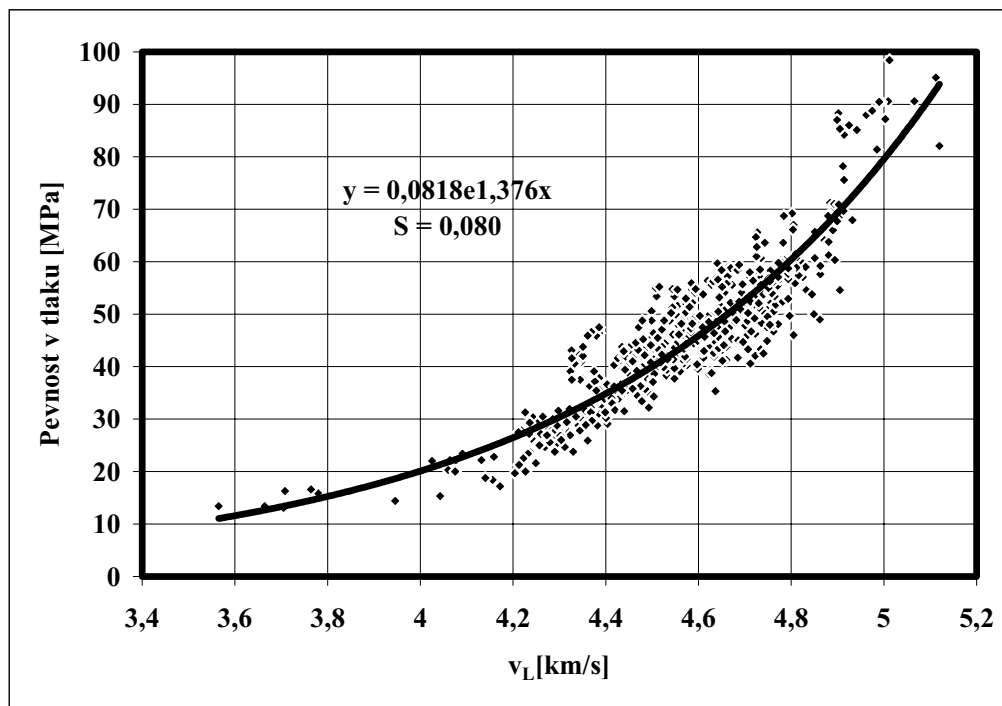
Pro bezsádrovcové cementy jsou charakteristické tyto vlastnosti :

- krátká doba počátku tuhnutí (zpravidla v rozmezí 30 až 75 minut)
- krátký časový úsek mezi počátkem a koncem tuhnutí (do 20 minut)
- vysoké počáteční pevnosti ve stáří 1 – 3 dny (pevnost v tlaku po 24 hodinách $\geq 35,0 \text{MPa}$, po 3 dnech $\geq 45,0 \text{MPa}$ a po 28 dnech $\geq 55,0 \text{MPa}$ a pevnost v tahu za ohybu po 24 hodinách $\geq 6,0 \text{MPa}$, po 3 dnech $\geq 7,0 \text{MPa}$ a po 28 dnech $\geq 9,0 \text{MPa}$).

Pevnostní charakteristiky byly zjišťovány na zkušebních tělesech trámečcích 40 . 40. 160 mm, vyrobených z normové malty odpovídající svým složením pevných složek (cementu a plniva) požadavkům ČSN 72 2117 resp. ČSN EN 196-1.

Vodní součinitel V/C normové malty z bezsádrovcových cementů byl nižší než V/C předepsaný v citovaných normách. Pro normové malty z bezsádrovcových cementů MRVC (NOYEMENT) a RVCT je předepsán $V/C = 0,33$ a pro BSRVC a BS55h je $V/C = 0,31$.

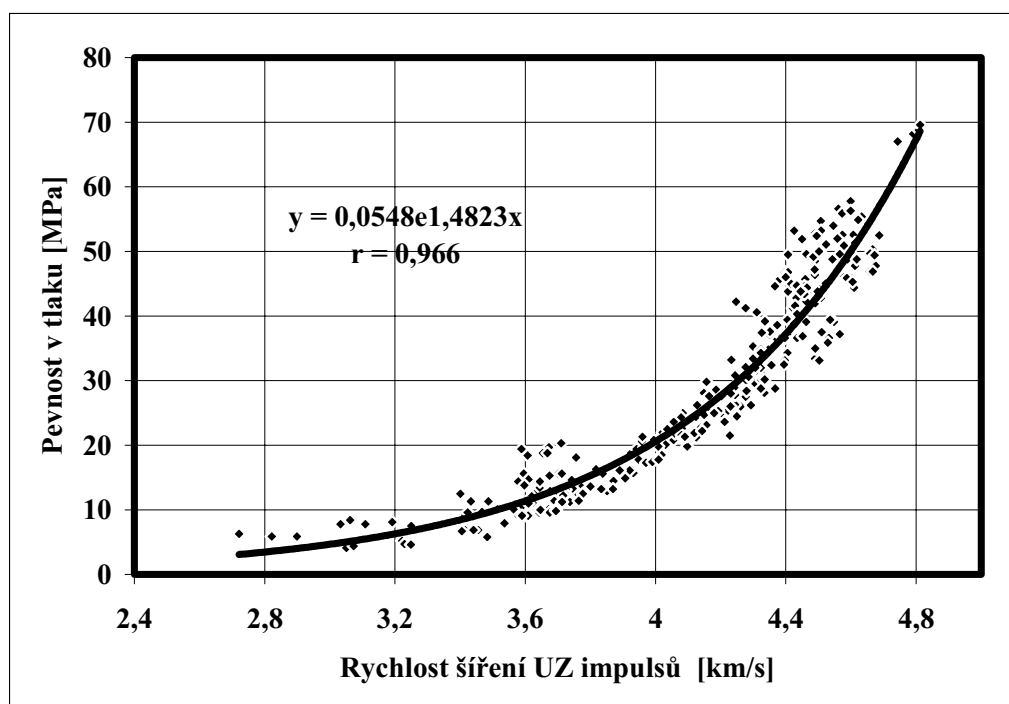
Cementy byly zkoušeny především ve stáří 1, 2, 3, 7 a 28 dní. Celkem bylo odzkoušeno 335 zkušebních těles. Výsledky zkoušek pro celý zkoušený soubor jsou graficky znázorněny včetně závislosti mezi rychlostí šíření UZ impulsů a pevností v tlaku v obrázku 2.



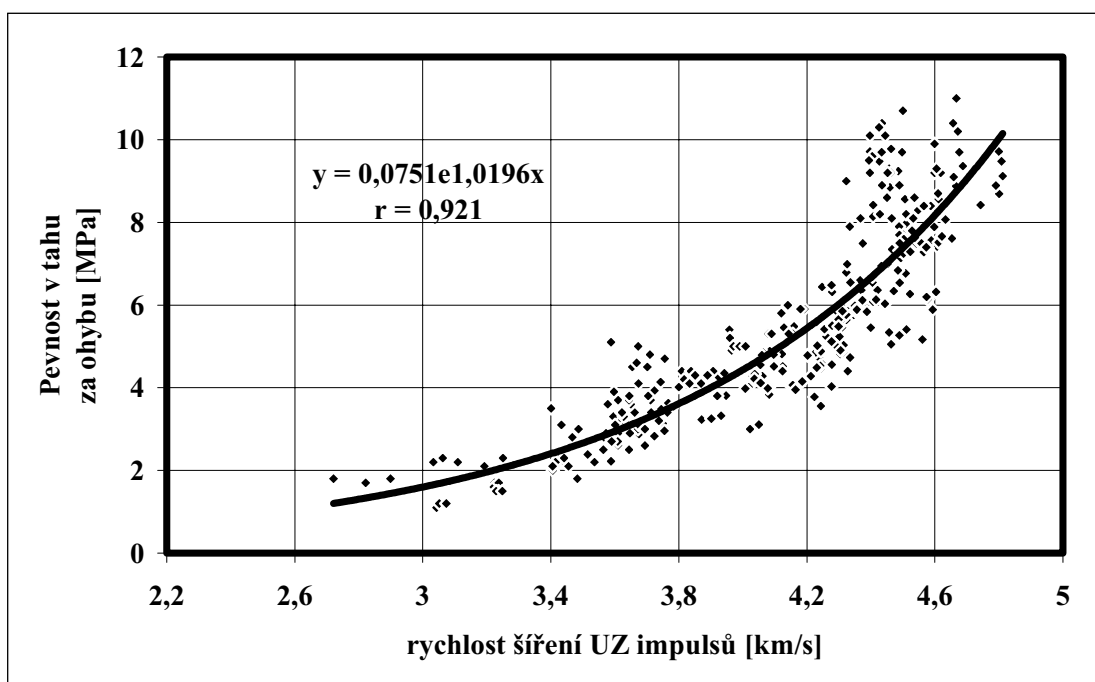
Obr. 2: Souhrn výsledků zkoušek bezsádrovcových cementů - závislost mezi rychlostí šíření UZ impulsů a pevností v tlaku

6.2 CEMENTY NA BÁZI PORTLANDSKÉHO SLINKU S PŘÍSAĐOU REGULACE TUHNUTÍ SÁĐROVCEM

Jedná se o portlandské cementy a směsné portlandské cementy a cementy pro zdění. Celkem bylo odzkoušeno 312 zkušebních těles ve stáří 2, 7, 28 a 90 dní. Výsledky zkoušek jsou graficky znázorněny v obrázku 3 a 4.



Obr. 3: Výsledky zkoušek portlandských cementů a cementů pro zdění - závislost mezi rychlostí šíření UZ impulsů a pevností v tlaku

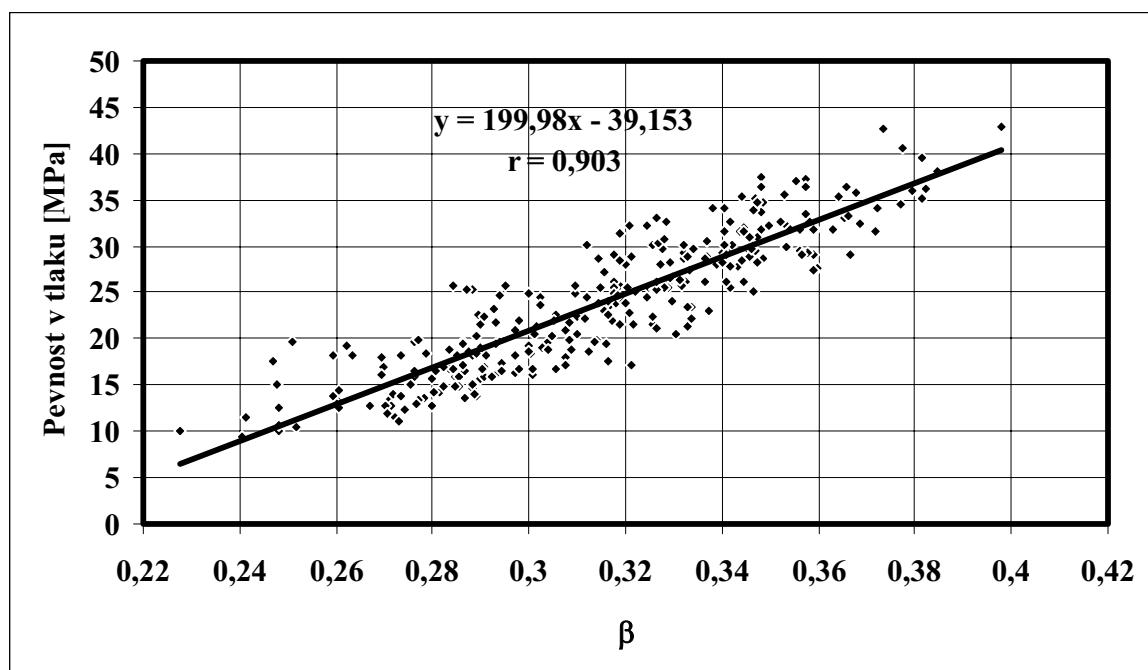


Obr. 4: Výsledky zkoušek portlandských cementů a cementů pro zdění a závislost mezi rychlostí šíření UZ impulsů a pevností v tahu za ohybu

7 KUSOVÉ ZDÍČÍ MATERIÁLY

7.1 CIHLY PLNÉ PÁLENÉ

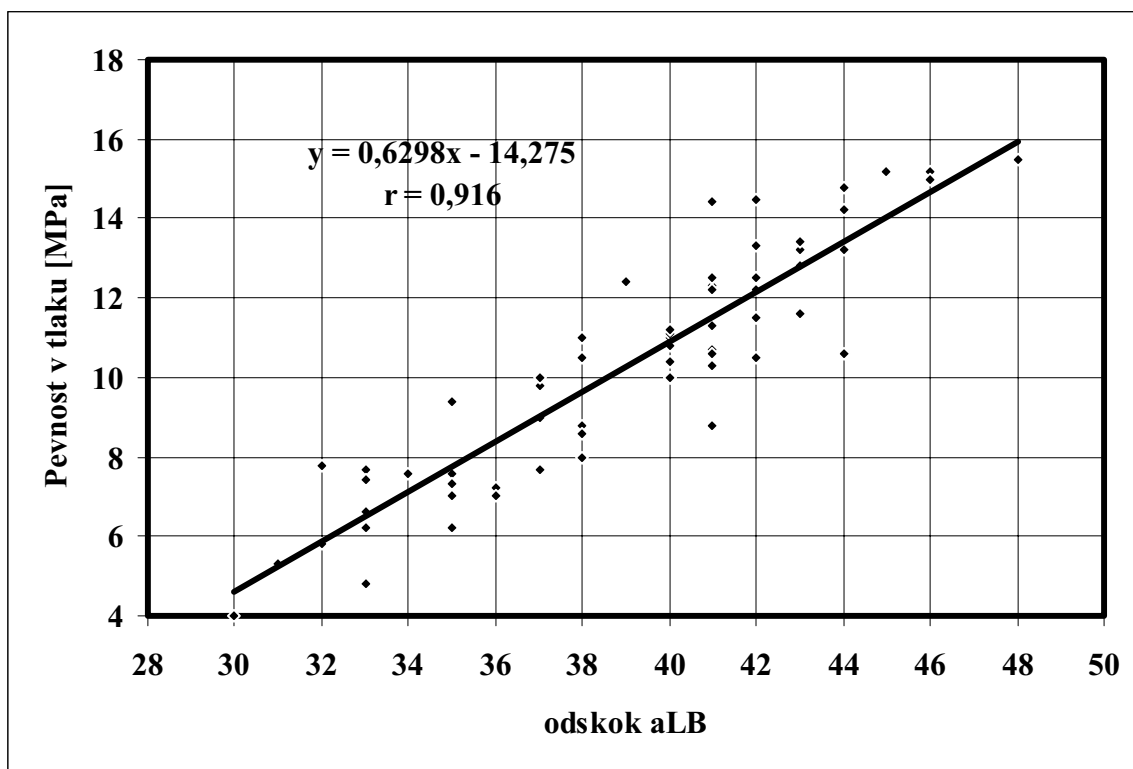
V rámci experimentálních prací byly zkušeny cihly plné pálené klasického formátu z různého období výroby – období 1910 až 1930 (100ks) a z období 1993 – 2001 (203 ks) a z různých výroben. Celkem bylo odzkoušeno 303 vzorků. Pro ilustraci jsou uváděny výsledky zkoušek včetně závislosti mezi poměrem β (Waitzmannův tvrdoměr) a pevností v tlaku v obrázku 5.



Obr. 5: Výsledky zkoušek cihel plných – soubor 303 vzorků (staré i nové) – závislost mezi poměrem β a pevností v tlaku

7.2 CIHLY VOŠTINOVÉ

Cihly voštinové – jedná se o jeden z druhů cihel děrovaných. Tyto výrobky jsou vylehčeny otvory ve směru tažení, tvar a velikost otvorů není předepsána. Limitujícím faktorem je objemová hmotnost výrobku a jeho požadované pevnosti. Byly zkoušeny cihly o rozměru 290.140.140 mm od jednoho výrobce a deklarované ve značkách P 10 a P15. Nedeštruktivní zkoušky byly prováděny pouze Schmidovým tvrdoměrem typu LB. Celkem bylo odzkoušeno 65 vzorků. Výsledky zkoušek jsou graficky znázorněny v obrázku 6.



Obr. 6: Výsledky zkoušek cihel voštinových – závislost mezi odrazem a_{LB} a pevností v tlaku

7.3 VÁPENOPÍSKOVÉ CIHLY

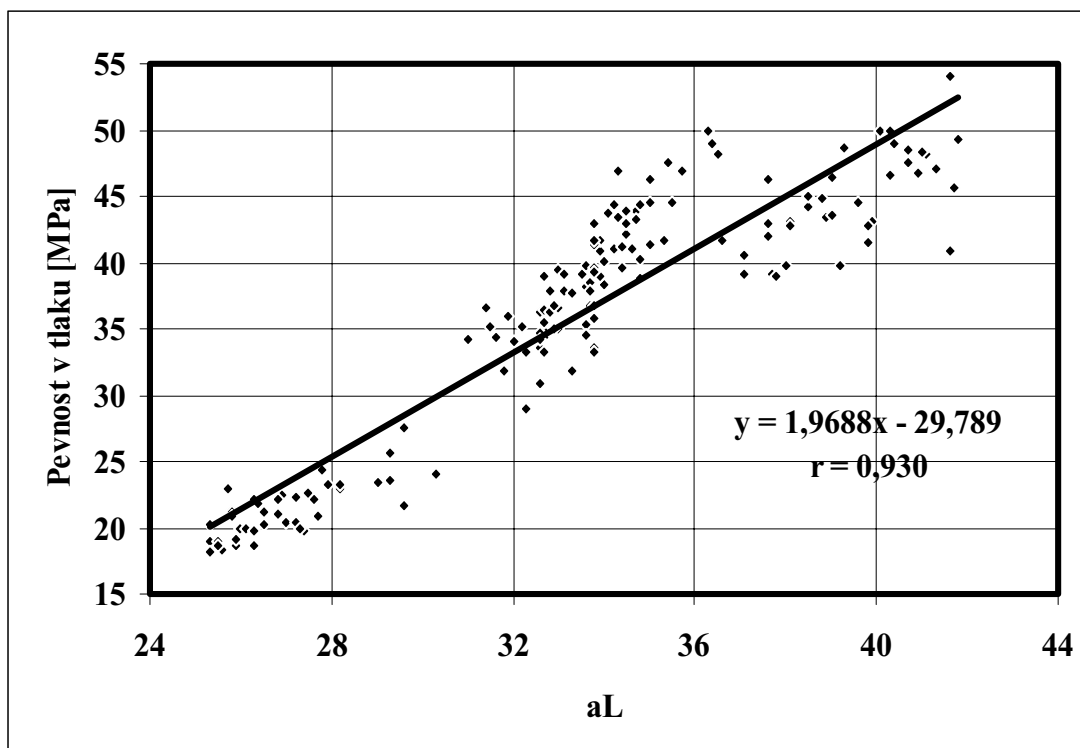
Vápenopískové cihly jsou vyráběny lisováním ze surovinové směsi písku s vysokým obsahem oxidu křemičitého, velmi jemně mletého nehaseného vápna a vody, dávkovaných ve stanovených poměrech. Po vylisování jsou podrobeny autoklávování pod tlakem přehřáté vodní páry cca 1,5 MPa a při teplotě cca 200°C. Během autoklávování dochází k chemické reakci mezi vápnem a kyselinou křemičitou za vzniku vápenokřemičitých hydrátů. Tyto sloučeniny jsou nositelem pevností vápenopískových cihel.

Pro nedeštruktivní zkoušení byl využity tyto metody - tvrdoměrné (Schmidův tvrdoměr typu L, Waitzmannův tvrdoměr) a ultrazvuková impulsová metoda.

Z hlediska makrostruktury lze materiál vápenopískových cihel charakterizovat jako jemnozrnný beton ztuhlý lisováním. Vzhledem k tomu, že cihly jsou vyráběny z kameniva, které lze označit jako drobné, lze očekávat velice dobrou korelaci mezi parametrem z nedeštruktivního zkoušení a pevností výrobků, a to především pevností v tlaku.

V rámci experimentálních prací byly zkoušeny vápenopískové cihly formátu 290 . 140 . 65 mm z různých výrobních šarží. Pevnostní značky deklarované výrobcem byly P15 až P30 MPa, skutečné pevnosti cihel v tlaku se pohybovaly v rozmezí 18 - 54 MPa. Celkem bylo odzkoušeno 170 cihel.

Kromě zkoušení Waitzmannovým tvrdoměrem vykazovaly stanovené kalibrační vztahy vysokou korelaci z hlediska jejich praktického využití. Pro ilustraci jsou uváděny v grafické podobě výsledky zkoušek, včetně znázornění závislosti mezi odrazem Schmidtova tvrdoměru typu L a pevností v tlaku – viz obrázek 6.



Obr. 7: Výsledky zkoušek VCP – závislost mezi odrazem a pevností v tlaku

8 BETONOVÉ DLAŽEBNÍ BLOKY (ZÁMKOVÁ DLAŽBA)

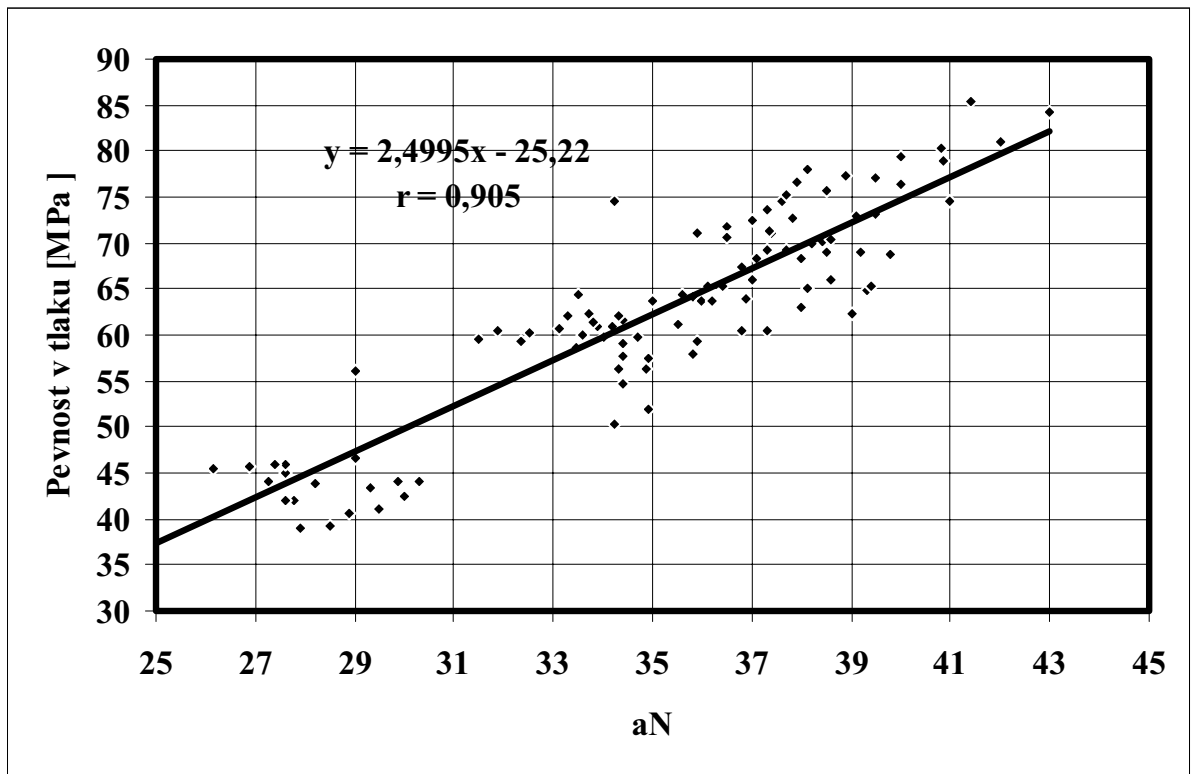
Zámková dlažba je betonový výrobek zpravidla vyráběný vibrolisováním z velmi suchých betonových směsí. V současné době mezi nejrozšířenější patří zámkové dlažby dvouvrstvé – sestávající ze základního tělesa dlažby (tzv. jádra) a nášlapné vrstvy. Tyto jsou vyráběny z betonu různého složení. Nositelem pevnosti výrobku je jeho těleso (jádro).

Dlažby jsou vyráběny o různých tvarech a rozměrech. Nejčastější výška dlažby je 60 mm, ale vyrábí se dlažby i např. o výšce 50mm, 80 mm či 100 mm.

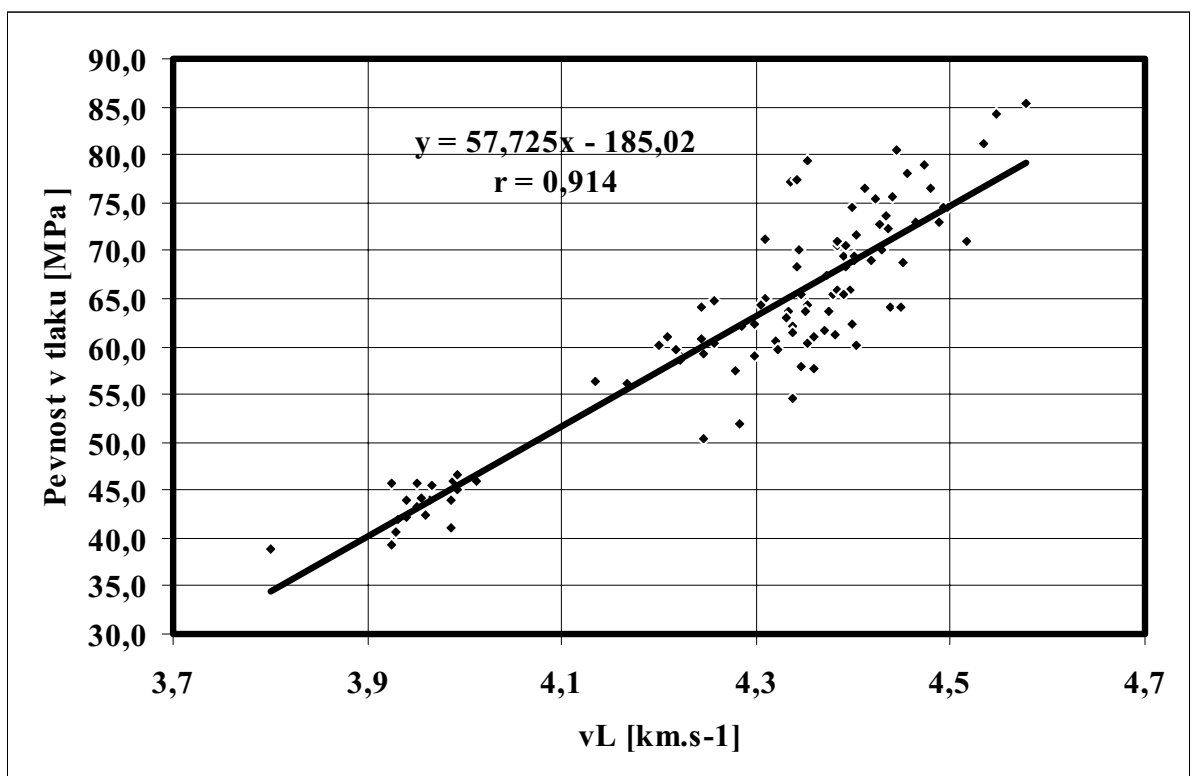
V rámci experimentálních prací byla zkoušena zámková dlažba obdélníkového tvaru, základní půdorysný rozměr byl 200 . 100 mm a výška 60 mm. Byly zkoušeny výrobky od 4 výrobců.

Pro zpracování kalibračních vztahů byly provedeny destruktivní a nedestruktivní zkoušky na 103 výrobcích. Zkoušení bylo prováděno Schmidtovým tvrdoměrem typu N a L a UZ impulsovou metodou. Zámková dlažba byla zkoušena ve stáří 3, 7, 14, 21 a 28 dní.

Výsledky zkoušek jsou graficky znázorněny včetně závislostí mezi odrazem Schmidtova tvrdoměru typu N resp. rychlosti šíření UZ impulsů a pevností v tlaku v obrázku 9 a 10.



Obr. 9: Výsledky zkoušek zámkové dlažby – závislost mezi odrazem Schmidtova tvrdoměru typu N a pevností v tlaku



Obr. 10: Výsledky zkoušek zámkové dlažby – závislost mezi rychlostí šíření UZ impulsů a pevností v tlaku

9 KALIBRAČNÍ VZTAHY

V dalším jsou uvedeny vybrané kalibrační vztahy pro jednotlivé zkoumané materiály a výrobky zpracované na základě destruktivních a nedestruktivních zkoušek. Celkem bylo zpracováno 26 kalibračních vztahů mezi parametrem z nedestruktivního zkoušení a příslušnou pevností. V dalším jsou uvedeny vybrané kalibrační vztahy.

9.1 BEZSÁDROVCOVÉ CEMENTY

9.1.1 Pevnost v tlaku

$n = 335$; obecný kalibrační vztah, $S = 0,080 < 0,12$

$$f_c = 0,0818 \cdot e^{1,376 \cdot v_L} \quad (9.1) \quad v_L \in \{3,5 ; 5,2\} [\text{km} \cdot \text{s}^{-1}]$$

9.2 PORTLANDSKÉ CEMENTY

9.2.1 Pevnost v tlaku

$n = 312$; obecný kalibrační vztah, $S = 0,089 < 0,12$

$$f_c = 0,0548 e^{1,4823 \cdot v_L} \quad (9.2) \quad v_L \in \{2,7 ; 4,8\} [\text{km} \cdot \text{s}^{-1}]$$

9.3 BETONOVÉ DLAŽEBNÍ BLOKY (ZÁMKOVÁ DLAŽBA)

9.3.1 Pevnost v tlaku – UZ impulsová metoda

$n = 103$; směrný kalibrační vztah, $r = 0,914$

$$f_c = 57,73 \cdot v_L - 185 \quad (9.3) \quad v_L \in \{3,8 ; 4,7\} [\text{km} \cdot \text{s}^{-1}]$$

9.3.2 Pevnost v tlaku – odrazový tvrdoměr Schmidt, typ N

$n = 103$; směrný kalibrační vztah, $r = 0,0,5$

$$f_c = 2,5 \cdot a_N - 25,2 \quad (9.4) \quad a_N \in \{26 ; 43\}$$

9.4 CIHLY PLNÉ PÁLENÉ

9.4.1 Pevnost v tlaku – Waitzmannův tvrdoměr

$n = 303$; obecný kalibrační vztah, $r = 0,903$

$$f_{pd,W} = 199,98 \cdot \beta - 39,15 \quad (9.5) \quad \beta \in \{0,2200 ; 0,4000\}$$

9.5 VÁPENOPÍSKOVÍ CIHLY

9.5.1 Pevnost v tlaku – UZ impulsová metoda

$n = 170$; určující kalibrační vztah, $S=0,074$

$$f_{pd,UZ} = 4,7902 \cdot v_L^{2,0372} \quad (9.6) \quad v_L \in \{1,8 ; 3,3\}$$

9.5.2 Pevnost v tlaku – odrazový tvrdoměr Schmidt, typ L

$n = 170$; určující kalibrační vztah, $r = 0,930$

$$f_{pd,L} = 1,969 \cdot a_L - 29,79 \quad (9.7) \quad a_L \in \{24 ; 44\}$$

9.5.3 Pevnost v tahu za ohybu – UZ impulsová metoda

$n = 170$; určující kalibrační vztah, $S=0,093$

$$f_{po,UZ} = 0,1259 \cdot v_L^{3,1588} \quad (9.9) \quad v_L \in \{1,8 ; 3,3\}$$

9.5.4 Pevnost v tahu za ohybu – odrazový tvrdoměr Schmidt, typ L

$n = 170$; určující kalibrační vztah, $r = 0,935$

$$f_{po,L} = 0,2316 \cdot a_L - 4,785 \quad (9.10) \quad a_L \in \{24 ; 44\}$$

9.6 CIHLY VOŠTINOVÉ

9.6.1 Pevnost v tlaku – odrazový tvrdoměr Schmidt, typ LB

$n = 65$; určující kalibrační vztah, $r = 0,916$

$$f_{pd} = 0,6298 \cdot a_{LB} - 14,2 \quad .11) \quad a_{LB} \in \{30 ; 50\}$$

10 ZHODNOCENÍ DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

10.1 CEMENTY

Byla prokázána praktická využitelnost ultrazvukové impulsové metody pro zjišťování pevnosti v tlaku cementů (bezsádrovcových i cementů na bázi portlandského slinku s hlavní přísadou sádrovcem) za jednoznačně definovaných podmínek měření. Zpracované kalibrační vztahy vykazují vysokou vázanost mezi proměnnými, reziduální směrodatná odchylka leží v intervalu 0,063 - 0,090 resp. korelační koeficient pro přímkové závislosti je větší než 0,90 a jsou prakticky využitelné i bez upřesňování postupem dle ČSN 73 1370.

Pro zjišťování pevnosti v tahu za ohybu je UZ metoda využitelná pouze u cementů na bázi portlandského slinku s hlavní přísadou sádrovcem.

Z výsledků zkoušek též vyplývá, že výsledky měření nejsou významně ovlivňovány ani druhem použitého slinku ani obsaženými příměsemi v cementu (vysokopeční granulovaná struska, ocelářská struska, popílky, odprašky z výroby přírodního kameniva).

Pro bezsádrovcové cementy nelze stanovit kalibrační vztahy mezi rychlostí šíření UZ impulsů a pevností v tahu za ohybu, protože tato dosahuje ve většině případů maxima ve stáří 7 až 28 dní, což je v rozporu s požadavkem na kalibrační vztah, který nesmí uvnitř svého rozsahu nabývat extrémní hodnoty.

Podmínkou využití této metody je však strohé dodržování podmínek měření.

10.2 CIHLY PLNÉ

10.2.1 Tvrdoměrné metody

Cihly plné byly nedestruktivně zkoušeny Waitzmannovým tvrdoměrem, byla zjišťována závislost mezi poměrem β a pevností v tlaku resp. tahu za ohybu. Byly zkoušeny cihly vyráběné různou technologií (lisováním, tažením). Cihly vyráběné technologií lisování vykazují menší obsah defektů střepu (především trhlinek), avšak obsahují větší zrna různých vměstků (např. ostřiva). Výskyt trhlinek ve střepu dle předmětových ČSN na cihlářské výrobky není považován za závadu pokud nesnižují jejich pevnosti. Trhlinky ve střepu ovlivňují ve větší míře pevnost v tahu za ohybu než pevnost v tlaku.

Zpracované kalibrační vztahy pro určování pevnosti v tlaku z poměru β mají vysoký stupeň korelace, který se pohybuje v rozmezí 0,898 až 0,912. Vliv technologie výroby z hlediska vlivu na parametr z nedestruktivního zkoušení lze považovat za nevýznamný.

Pevnost v tahu za ohybu byla zjišťována pouze u cihel z období 1910 -1930. Existuje sice korelační závislost mezi parametrem z nedestruktivního zkoušení a pevností tahu za ohybu, avšak koeficient korelace je pouze 0,622, což znamená, že uvedený vztah je z praktického hlediska nevyužitelný. Důvodem je skutečnost, že defekty mikrostruktury významněji ovlivňují pevnost v tahu za ohybu než pevnost v tlaku.

10.2.2 Ultrazvuková impulsová metoda

Využití ultrazvukové metody zkoušení pro zjišťování pevností cihel plných je problematické i když ne vždy zavrženíhodné. Pro vyšetřovaný soubor cihel plných nebyly nalezeny korelační závislosti s těsností korelace, která by umožňovala praktické využití kalibračních vztahů. Pro ultrazvukovou metodu je uváděn pouze jeden kalibrační vztah, a to mezi rychlostí šíření UZ impulsů a pevností v tahu za ohybu zpracovaného pro cihly z období 1910 až 1930, vykazuje jednoznačně nejvyšší koeficient korelace ze všech analyzovaných závislostí ($r = 0,700$), avšak i tento kalibrační vztah je z praktického hlediska nevyužitelný.

Z výše uvedeného vyplývá, že vliv defektů ve struktuře cihel plných ovlivňuje výrazně využitelnost ultrazvukové impulsové metody pro zjišťování jejich pevností, avšak jednoznačně tuto metodu není třeba odmítat. Autor zpracovával kalibrační vztahy z výsledků zkoušek cihel plných formátu 290 . 140 . 65 mm s pevnostmi v rozmezí 20 až 45 MPa (výrobna v okolí Liptovského Mikuláše, období 1937 - 40) a pro cihly plné malého formátu vyráběné technologií tažení s pevnostmi v rozmezí 20 až 50 MPa. Tyto kalibrační vztahy vykazovaly vysokou korelaci ($r = 0,89$ resp. $S = 0,052$). Jejich účelem bylo ukázat využitelnost UZ impulsové metody i při zkoušení cihel plných. Vysokou těsnost korelace mezi sledovanými parametry lze vysvětlit vysokou kompaktností střepu o čemž svědčí i vysoké pevnosti v tlaku, běžně u cihel plných nedosahované.

10.3 VÁPENNOPIŠKOVÉ CIHLY

10.3.1 Tvrdoměrné metody

Cihly plné byly nedestruktivně zkoušeny Schmidovým tvrdoměrem typu L a Waitzmannovým tvrdoměrem, byla zjišťována závislost mezi odrazem resp. poměrem β a pevností v tlaku resp. tahu za ohybu.

Zpracované kalibrační vztahy pro určování pevnosti v tlaku a tahu za ohybu ze zkoušení Schmidovým tvrdoměrem vykazují vysokou vázanost mezi proměnnými a jsou prakticky využitelné, koeficient korelace je v rozmezí 0,930 až 0,935. Zpracované kalibrační vztahy pro určování pevnosti v tlaku ze zkoušení Waitzmannovým tvrdoměrem poměru jsou z praktického hlediska nevyužitelné. Za významný faktor, který ovlivňuje reprodukovatelnost výsledků, lze považovat chybu vzniklou při měření rozměrů otisku na folii kladené na povrch cihly při jejím vyhodnocování. Otisk na folii vykazuje určité nerovnosti na svém obvodu v důsledku struktury povrchu cihly tvořené zrny použitého plniva (písku).

10.3.2 Ultrazvuková metoda

Tato metoda je využitelná pro zjišťování pevnosti v tlaku i tahu za ohybu vápenopískových cihel, ale za předpokladu dodržení dříve definovaných podmínek zkoušení.

Zpracované kalibrační vztahy se vyznačují vysokou těsností korelace, reziduální směrodatná odchylka se pohybuje v rozmezí 0,073 až 0,106. Vyšší těsnosti korelace je dosahováno u kalibračních vztahů pro určování pevnosti v tahu za ohybu.

Existují rozdíly mezi rychlostí šíření UZ impulsů při protilehlém a šikmém prozvučování, průměrné hodnoty těchto rozdílů se pohybují v rozmezí od 2 do 5%.

10.4 CIHLY VOŠTINOVÉ

V rámci stavebně - technických průzkumů při rekonstrukci objektů či změně jejich užívání vzniká potřeba zjišťovat pevnosti v tlaku kusových zdících materiálů, jako jeden z vstupních parametrů pro statické posouzení. V současné době se setkáváme zatím s požadavky na zkoušení cihel plných, ale již se vyskytují požadavky na zjištěné pevnosti v tlaku cihel děrovaných zabudovaných ve zdivu. V odborné literatuře je uváděn pouze blíže nespecifikovaný kalibrační

vztah pro stanovení pevnosti v tlaku dutinových tvarovek z cihelny Řeporyje tvrdoměrem systému Baumann-Steinrück-Franck. Tento vztah je prakticky nevyužitelný jednak z důvodu, že není znám výrobek pro který byl stanoven, jednak z důvodu velmi omezeného výskytu tohoto zkušebního zařízení ve stavební praxi.

Na základě experimentálních prací byl zpracován úzký kalibrační vztah pro určení pevnosti v tlaku z odrazu Schmidtova tvrdoměru typu LB pro cihly od jednoho výrobce, tento vztah se vyznačuje vysokou těsností korelace ($r = 0,916$). Využití zpracovaného kalibračního vztahu pro cihly voštinové od jiných výrobců je možné za předpokladu upřesnění pevností v tlaku z nedestruktivních zkoušek postupem uvedeným v ČSN 73 1370.

Otázkou je, zda je reálné zpracovat obecný kalibrační vztah pro určování pevnosti tlaku pro cihly voštinové, který by vycházel ze zkoušek výrobků od různých výrobců. Při zkoušení těchto cihel (obecně všech cihel děrovaných) je v podstatě zkoušena tvrdost cihelného střepu. Ta bude u různých výrobků různá i když budou dosahovány srovnatelné pevnosti, protože je ovlivňována nejen pevností střepu, ale i uspořádáním vylehčovacích otvorů a tloušťkou jejich stěn. Při využívání nedestruktivních metod zkoušení pro zkoušení cihel děrovaných je třeba mít na zřeteli, že i zde je pevnost v tlaku ovlivňována tvarem zkoušeného vzorku (výrobku), a proto je nutné zpracovávat kalibrační vztahy pro daný typ výrobku.

10.5 BETONOVÉ DLAŽEBNÍ BLOKY (ZÁMKOVÁ DLAŽBA)

Na základě výsledků zkoušek byly zpracovány kalibrační vztahy pro určení pevnosti v tlaku zámkové dlažby o výšce 60 mm z parametru nedestruktivního zkoušení (rychlost šíření UZ impulsů resp. odrazu Schmidtova tvrdoměru). Pro ultrazvukovou impulsovou metodu a Schmidtův tvrdoměr typu N vykazují kalibrační vztahy vysokou vázanost mezi proměnnými, koeficient korelace $r = 0,914$ resp. $0,905$.

11 ZÁVĚR

Uvedené výsledky prokázaly reálnost využití vybraných nedestruktivních metod zkoušení pro zjišťování pevnostních charakteristik i pro jiné stavební materiály než je beton, konkrétně se jednalo o cementy, cihly plné a voštinové, vápenopískové cihly a zámkovou dlažbu.

Pro zkoušení cementů (zkušební vzorky z malty normového složení) se osvědčila ultrazvuková impulsová metoda, zpracované kalibrační vztahy se vyznačují vysokou těsností korelace a jsou prakticky využitelné. U cementů na bázi portlandského slínku s hlavní přísadou sádrovcem lze s jejich pomocí zjišťovat jak pevnost v tlaku tak i pevnost v tahu za ohybu. U bezsádrovcových cementů jsou využitelné pouze pro pevnost v tlaku. Nedestruktivní zkoušení cementů se předpokládá využívat především v rámci výzkumných prací při hledání optimálního složení pojiv a sledování nárůstu pevností v čase, zejména směsných či cementů pro zdění. To umožní zracionalizovat laboratorní práce – minimalizovat počet vyráběných zkušebních těles. Využitelné jsou tyto kalibrační vztahy i při výrobně - kontrolních zkouškách.

Pro zkoumané kusové zdící materiály se jeví jako využitelné především nedestruktivní tvrdoměrné metody zkoušení (odrazové, vtiskové). Ultrazvuková impulsová metoda je bezproblémově využitelná pro zkoušení vápenopískových cihel.

Pevnosti v tlaku zámkové dlažby lze zjišťovat jak s využitím tvrdoměrné odrazové metody, tak i UZ impulsovou metodu. Uplatnění těchto metod je především při kontrolních zkouškách ve výrobě. V současné době se přechází na evropské normy, které stanovují požadavky na betonové dlažební bloky (zámkovou dlažbu) tak, že v dalším období je účelné výzkum využití

nedestruktivních zkoušení zaměřit i na zjišťování pevnosti v příčném tahu dlažby, která je dle této normy rozhodující pevnostním parametrem.

Zpracované metodiky zkoušení a vyhodnocení výsledků zkoušek zohledňují specifika jednotlivých materiálů a výrobků. Jak prokázala analýza, tato metodika je prakticky využitelná a vytváří nezbytný předpoklad pro zabezpečení reprodukovatelnosti a opakovatelnosti výsledků měření.

Byla prokázána reálnost využití nedestruktivních metod zkoušení pro zjišťování pevností i pro jiné materiály než je beton. V práci nebylo možno pojmut celou škálu stavebních materiálů a ani to nebylo cílem. Je impulsem pro další výzkum a vytváření předpokladů k širšímu využití nedestruktivních metod ke zjišťování parametrů i další stavebních materiálů. I výčet použitých metod není definitivní a může být podstatně širší. Používané nedestruktivní metody byly voleny s ohledem na jejich rozšíření v technické praxi, finanční dostupnost zkušebního zařízení a požadavky na odbornou způsobilost pracovníků, kteří provádí měření.

12 POUŽITÁ LITERATURA (VÝBĚR)

- [1] BROŽOVSKÝ, J. - VEJCHODA, J. : Možnosti náhrady stávajících rychlovazných cementů speciálními BSPC z cementárny Prachovice a Štramberk. Závěrečná zpráva výzkumného úkolu Bet 4/91, VSP/VA Brno, 1993.
- [2] BUKOVSKÝ, L.: Průzkumy zděných konstrukcí pro rekonstrukce – kandidátská disertační práce, ČVUT Stavební fakulta, Praha, 1990
- [3] CIGÁNEK, M.: Poruchy na betonových a na zděných stavbách, prevence, sanace a rekonstrukce. Učební texty VUT Brno, 1972.
- [4] DOHNÁLEK, J. – KRÁTKÝ, J.: Objektivní možnosti tzv. neobjektivních špičkových metod. In: Sborník mezinárodní konference Nedestruktivní metody skúšenia v stavebníctve, Vysoké Tatry, 1987.
- [5] DROCHYTKA, R., - PYTLÍK, P., BROŽOVSKÝ, J. : Výzkum využití vybraných průmyslových odpadů ve výrobě stavebních hmot a dílců. Dílčí téma 3 Využití ocelářské a vysokopecní granulované strusky pro výrobu pojiv na bázi portlandského slínku., VUT v Brně, Dílčí zprávy za rok 1996 až 2000 a závěrečná zpráva za rok 2000 k projektu VS 96107 – MŠMT
- [6] DROCHYTKA, R. A KOL. : Výzkum a vývoj nových materiálů z odpadních surovin a zajištění jejich vyšší trvanlivosti ve stavebních konstrukcích, VUT v Brně Závěrečná roční zpráva za rok 1999 až 2004 a závěrečná zpráva k projektu VVZ CEZ MSM: 261100008, 2004
- [7] HÖNIG, A. – ZAPLETAL, V : Nedestruktivní zkušebnictví, VUT Brno, 1982
- [8] HORKÝ, B. – DOHNÁLEK, J.: Aplikace použití metod místního porušení. Sborník mezinárodní konference ČSVTS Vysoké Tatry 1987 „Nedestruktivne metody vo stavebníctve“.
- [9] JANKO, J.,: statistické tabulky, NČSAV, Praha, 1958
- [10] MATUŠINA, J. - BROŽOVSKÝ, J. - VEJCHODA, J.: Státní úkol NO3-333-873 "Výzkum, zdokonalení výroby a využití RVCT", zpráva k HS 89/13 za 2. etapu - Teoretické a experimentální práce při řešení problematiky pojiva RVCT a betonů s RVCT. VAAZ/VSP, listopad 1989, Brno, str. 45
- [11] PROCEQ SA, Dokumentace Schmidtova tvrdoměru L/LB, Zurich, Switzerland
- [12] PROKOP, M : Mechanické metody nedestruktivního zkoušení materiálů ve stavebníctví, Sborník přednášek I. Celostátního semináře , Kremnica 21.-24.10.1957

- [13] PROKOP, M : Určování pevnosti pálených cihel nedestruktivními metodami zkoušení. Stavivo č. 4/1972
- [14] PROKOP,M.: Odhad jakosti betonu na základě určení síly potřebné pro vytažení ocelového zakotveného prutu. In: Inženýrské stavby 1/1983
- [15] PUME, D., ČERMÁK, F. A Kol.: Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí, ARCH, Praha, 1993
- [16] Specializované pracoviště pro průzkumy k zajištění modernizací a rekonstrukcí: Možnost využití nedestruktivních diagnostických metod ke zjišťování kvality cihel ve starém zdivu, PÚDIS, Praha, 1989
- [17] ŠTEFKO, P.: Metódy miestneho porušenia na zisťovanie pevnosti betónu v tlaku. In: Inženýrské stavby 5/1988
- [18] VEJCHODA,J. - BROŽOVSKÝ,J.: Diagnostika stavebních konstrukcí - Využití nedestruktivních metod pro zkoušení cihel", dílčí zpráva k výzkumnému úkolu Bet 11/88, 01. 1992, Brno - VSP/VA, str. 70
- [19] <http://www.germann.org/Pages/Products/CAPO-TEST/CAPO-TEST.htm>
- [20] ČSN 72 1166 Stanovení rychlosti šíření ultrazvukových vln v přírodním stavebním kameni
- [21] ČSN 72 1167 Stanovení tvrdosti přírodního stavebního kamene podle Vickerse
- [22] ČSN EN 14205 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení tvrdosti podle Knoopu
- [23] ČSN EN 14146 Zkušební metody přírodního kamene - Stanovení dynamického modulu pružnosti (pomocí základní rezonanční frekvencí)
- [24] ČSN EN 12371 Zkušební metody přírodního kamene – Stanovení mrazuvzdornosti
- [25] ČSN EN 196-1, Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti
- [26] ČSN EN 196-3, Metody zkoušení cementu – Část 3: Stanovení dob tuhnutí a objemové stálosti
- [27] ČSN EN 197-1 Cement. Složení, jakostní požadavky a kritéria pro stanovení shody. Část 1 : Cementy pro obecné použití.
- [28] ČSN EN 413-1 Cement pro zdění - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody
- [29] ČSN 72 2605 Skúšanie tiehlarskych výrobkov – Stanovenie mechanických vlastností
- [30] ČSN EN 772-1 Zkušební metody pro zdicí prvky – Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku
- [31] ČSN 73 1322 Stanovení mrazuvzdornosti betonu
- [32] ČSN 73 1340 Betónové konštrukcie. Skúšanie koróznej odolnosti betónu. Všeobecné požiadavky
- [33] ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení
- [34] ČSN 73 1371 Ultrazvuková impulzová metoda skúšania betónu
- [35] ČSN 73 1372 Rezonančná metóda skúšania betónu
- [36] ČSN 73 1373 Tvrdoměrné metody zkoušení betonu
- [37] ČSN EN 12504-2 Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem
- [38] ČSN 73 2011 Nedeštruktívne skúšanie betónových konštrukcií
- [39] ČSN 73 6131-1 Stavba vozovek. Dlažby a dílce Část 1 : Kryty dlažeb, Příloha A.
- [40] GOST 21243-73 Opredelenie pročnosti metodom otryva so skalivaniem
- [41] ON 72 2133, Rychlovazný cementový tmel
- [42] PN FCP 72 21 02, Speciální bezsádrovcový portlandský rychlovazný vysokopevnostní cement

ABSTRACT

Currently, nondestructive testing methods are mostly used in particular during testing of concrete and reinforced concrete, testing of built-in concrete strength properties, as well as for reinforcement number, form and distribution; less commonly, these methods are used for detection of built-in concrete defects. Their use for concrete and reinforced concrete is codified in Czech technical standards both national and European formats.

For the rest of building materials incorporated in supporting structures, these methods are used considerably fewer – beside mortar in brickwork bed joints and solid bricks – due to missing calibration relationships enabling determination of calibration parameter (e.g. strength) on the basis of nondestructive testing and support of normative documents that would codify both methodics of testing of its own and procedures of their test data evaluation.

Underrated area of nondestructive testing methods is their use as tool for testing of building material and products within the scope of interoperable inspection made by the manufacturer.

Another sphere of nondestructive testing methods – less commonly for the present – are research experimental works although professional use of these methods can rationalize them through minimizing of test specimen number.

Available findings proved objectivity of selected nondestructive testing methods covering strength properties of building material different from concrete such as cement, solid bricks, perforated bricks, lime-sand bricks, and self blocking paving blocks.

Ultrasonic pulse method proved its serviceability for cement testing (test specimen made of standard mortar); available calibration relationships feature high correlation consistency – that is why they are usable in practice. Portland clinker based cement with natural calcium sulphate as admixture can use these methods for testing of both compression strength and tensile bending strength. As to gypsum free cements, these methods can serve for testing of compression strength only. We suppose that nondestructive testing of cement will be most frequent within the scope of research works at searching for optimal binder composition along with strength increase in course of time, in particular for blended cement or brickwork cement. This entire means rationalization of lab works through minimizing of test specimen number. These calibration relationships can serve for production testing, too.

For brick material under examination, it appears that nondestructive scleroscopic testing methods (Schmidt impact hammer, ball thrust hardness test) are usable in the first place. The ultrasonic pulse method is excellently usable for lime-sand bricks. As to solid firebricks, use of this method is disputable. For bricks of current quality, this method is impracticable in practice because their flawed body impacts more dramatically to nondestructive testing parameter than compression strength. However, it appears that high high-strength bricks of minimum defective body are suitable for the ultrasonic pulse method testing. In this case, there is necessary to elaborate calibration relationship for given specific case.

It is possible to detect compression strength of self blocking paving blocks using both Schmidt impact hammer and ultrasonic pulse method. Both these methods are usable in interoperable testing. Currently, European standards prevail. These standards define specifications of concrete pavement (self blocking paving blocks) so that in the future nondestructive testing will be advisable also for pavement strength testing of transverse tension; according to these standards, this parameter is critical.

Presented testing methodics along with test results take into account specificity of particular materials and products. As analyzed above, this methodics is usable in practice, constituting essential precondition of measurement reproducibility and repeatability.

This study proved objectivity of selected nondestructive testing methods covering strength properties of building material different from concrete however, it is not possible to cover complete spectrum of building materials; nor is it an objective. Our study proposes impulse to further research and precondition formulation of wider nondestructive method utilization for parameter determination of material different from concrete. Breakdown of methods used is not comprehensive – it is possible to extend them. The methods as used herein respect their frequency in engineering practice and availability.