

VŠB-Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Katedra stavebních hmot a hornického stavitelství

Diagnostika zděných konstrukcí  
Diagnostics of masonry structures

Student:

Petr Fojtík

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Hurta

Ostrava 2010

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Fojtík**  
Studijní program: B3607 Stavební inženýrství  
Studijní obor: 3647R019 Stavební hmoty a diagnostika staveb  
Téma: Diagnostika zděných konstrukcí  
Diagnostics of masonry structures

Zásady pro vypracování:

1. Úvod :cile diagnostiky
2. Uplatnění diagnostiky
3. Postup při diagnostikování
4. Druhy poruch (nejčastější vady a poruchy u zděných staveb)
5. Přístroje pro diagnostiku ,odběr vzorků, druhy, poznávání vad na vzorcích
6. Zkoušení vzorků, normové přepočty

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Poruchy a rekonstrukce zděných staveb, J. Solař , ISBN 978 80 247 2672 4
2. Poruchy a rekonstrukce staveb I, M. Vlček,I. Moudrý, ISBN 80 86517 56 X
3. Poruchy a rekonstrukce staveb II,M.Vlček, P. Beneš. ISBN 80 7366 013 X
4. Poruchy a rekonstrukce zděných budov , Jiří Witzany

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Hurta**

Datum zadání: 30.10.2009

Datum odevzdání: 03.05.2010

  
Ing. Martin Vavro, Ph.D.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Alois Materna, CSc., MBA  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

.....

V Ostravě

.....

podpis studenta

### **Prohlašuji, že**

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

## **Anotace práce:**

Obsahem této bakalářské práce je řešení problematiky diagnostiky poruch u zděných konstrukcí. Cílem této práce je poukázat na nejčastější poruchy zděných staveb a rozpoznání příčin a okolností, které vedly k jejich vzniku. Součástí bakalářské práce je také experimentální část, kde se zabývám základními zkouškami zdících prvků v laboratorním prostředí. V tomto textu je uveden stručný přehled nejčastěji používaných přístrojů pro diagnostikování zděných staveb, jejich popis a způsob práce s nimi.

## **Effort annotation:**

The content of this bachelor's effort is solving issues of diagnostics by brick constructions. The main goal of this effort is to point on most frequent failures by brick constructions and recognizing of cause and conditions which leads to failure occurrence. The part of bachelor's effort is an experimental part which consist of couple tests which was done in laboratory enviroment. Last but not least is in this text stated short overview of most used tools for diagnostics and their description, characterization and way how to work with them.

## Obsah

|  |    |
|--|----|
| <b>1. Úvod</b> .....   | 7  |
| <b>2. Historický vývoj zdiva</b> .....                                     | 7  |
| <b>3. Druhy poruch – nejčastější vady a poruchy u zděných staveb</b> ..... | 9  |
| 3.1 Charakteristické poruchy nosných zděných konstrukcí .....              | 9  |
| 3.1.1 Příčiny poruch, zatěžovací účinky a vlivy .....                      | 9  |
| 3.2 Trhliny .....  | 15 |
| 3.2.1 Příčiny vzniku trhlin .....  | 19 |
| <b>4. Zkušební postupy</b> .....   | 23 |
| 4.1 Pevnost v tlaku destruktivně .....                                     | 23 |
| 4.1.1 Pevnost v tlaku na vzorcích odebraných z konstrukce .....            | 23 |
| 4.1.2 Pevnost na vzorcích vyrobených z jádrových vývrtů .....              | 23 |
| 4.2 Pevnost v tlaku – nedestruktivně .....                                 | 25 |
| 4.2.1 Waitzmanův tvrdoměr .....  | 25 |
| 4.2.2 Schmidtovo kladívko (odrazový tvrdoměr) .....                        | 25 |
| 4.3 Metody zjišťování pevnosti malty ve spárách .....                      | 26 |
| 4.3.1 Odrazový tvrdoměr - Schmidt PM .....                                 | 27 |
| 4.3.2 Ultrazvuková impulsová metoda .....                                  | 27 |
| 4.4 Ověření pevnosti v tlaku pomocí metody lokálního porušení .....        | 29 |
| 4.4.1 Kučerova vrtačka – TZÚS .....  | 29 |
| 4.5 Zkouška nasákavosti .....  | 31 |
| 4.6 Zkouška pevnosti v tlaku .....   | 32 |
| <b>5. Experimentální část</b> .....  | 34 |
| 5.1 Praktická část zkoušky Kučerovou vrtačkou .....                        | 35 |
| 5.2 Praktická část zkoušky ultrazvukovou impulzovou metodou .....          | 44 |
| 5.3 Reprezentativní vzorky – výroba krychlí o délce strany 50x50x50 mm ... | 46 |
| 5.4 Praktická část zkoušky nasákavosti .....                               | 46 |
| 5.5 Praktická část zkoušky pevnosti v tlaku .....                          | 48 |
| <b>6. Závěr</b> .....  | 50 |
| <b>Seznam použité literatury</b> .....                                     | 51 |
| <b>Seznam tabulek</b> .....  | 53 |
| <b>Seznam obrázků</b> .....  | 54 |
| <b>Seznam příloh</b> .....   | 55 |

## 1. ÚVOD

Diagnostika staveb se zabývá odhalováním a definováním příčin vad a poruch konstrukcí, zjišťováním období jejich vzniku na základě vizuálních a poté i přístrojových analýz. Následně nato navazuje návrh na jejich opravu a sanování. Primárním cílem je tedy určit a popsat příčiny vad a poruch v konstrukci a eliminovat jakékoli další vnější či vnitřní okolnosti, jež by mohly vést k opětovnému návratu zmíněných (a nyní již i sanovaných) deformací objektu.

Diagnostika se skládá ze stavebně technického průzkumu, který obsahuje tři části: předběžný, podrobný a doplňující. Provádí se zejména tehdy, je-li změněn vlastník objektu, při přestavbě nebo rekonstrukci, před zahájením výstavby nových objektů v těsné blízkosti posuzované stavby a pro ověření stavu a vlastností materiálů pro statický výpočet zatížitelnosti konstrukce.

## 2. HISTORICKÝ VÝVOJ ZDIVA

Zděné stavby se datují již od doby před devíti tisíci lety. Tyto stavby se nacházely v Mezopotámii (dnešní Irán). Nejdříve se jako stavební materiál používaly cihly, které byly sušeny na slunci, později, asi před třemi tisíci lety, to už byly cihly pálené.

Jako nejstarší dosud zachováno cihelné zdivo na českém území je zdivo z 12. století v kostele v Plasích. Naproti tomu nejstarší kamenné zdivo u nás je již z období Velké Moravy (8. století n. l.). Ze zdiva z kvádrů, tzn. z větších kusů kamene, se stavěly např. hradní zdi, katedrály. Zdivo kvádríkové se používalo od 10. století do poloviny 13. století a postupně bylo nahrazeno zdivem lomovým. Do konce 14. století a začátku 15. století se zejména ke stavbám domů se u nás používala opuka, která však byla později z důvodu vyšší odolnosti vystřídána pískovcem.

Zdění se u nás používá již od Velkomoravské říše. Již od nejstarších dob se stavby omítaly, zprvu jen jednovrstvou přímkou, která měla hrubou strukturu. Jestliže

byla tato omítka nějak zdobená, byla hrubá struktura vyhlazena. Vápno se jako pojivo používalo již od 9. století. Na venkově se často omítalo hliněnou omítkou.

V době románské se stavělo z lomového zdiva, kde se lomový kámen spojoval s vápennou maltou. Lité zdivo vznikalo tak, že se mezi dvě vyzděné stěny z opracovaných kvádrů, mezi kterými jsou kusy lomového kamene, nalila vápenná, případně hliněná malta. Z obou stran pak bylo zdivo omítáno a vnitřní část byla ozdobena malbami nebo obklady. Cihlové zdivo bylo používáno tam, kde v přírodě nebyl dostatek kamene. Velký vliv měla i zděná kamenná klenba. Protože se v době románské vznikaly stavby zcela bez plánů, jen podle jakýchsi schémat, byly často nepřesné a poruchové.

V době gotické byl základem pro stavby přírodní lomový a tesaný kámen a cihly, od poloviny 15. století pískovec. Kámen jako stavební prvek, převažoval. Pro svou značnou stálost a odolnost se v základovém zdivu objevila žula. Nejznámějším znakem gotiky je lomený oblouk, žebrová klenba, opěrný systém a vertikálnost. Oproti zdivu z lomového kamene, se zdivo kvádrové omítalo pouze z vnitřní strany. Stavby se stavěly podle plánů a nebyly již tak robustní jako stavby románské.

V době renesanční se z kamene nejen stavělo, kámen se také používal na obklady ale i k výtvarným účelům. Kromě cihel se na stavbu kleneb se používaly keramické tvárnice. Zdivo se omítalo z obou stran – vnější i vnitřní.

V období baroka se oproti předcházejícím údobím stává prioritním stavebním materiálem cihla. Kromě cihel z pálené hlíny jsou to i hlazené desky na povrchy a obklady apod. V tomto období vzniklo mnoho významných staveb, které jsou charakteristické velkou tloušťkou omítek. Bylo postaveno mnoho kostelů, ale i šlechtických domů. Z kamene se většinou kladly dlažby a také se používal na obklady.

V období klasicismu se z kamene stavěly z větší míry základy a soklové zdivo. Byla také vylepšena technika výroby vápna a cementu.



## 3. DRUHY PORUCH - NEJČASTĚJŠÍ VADY A PORUCHY U ZDĚNÝCH STAVEB

### 3.1 Charakteristické poruchy nosných zděných konstrukcí

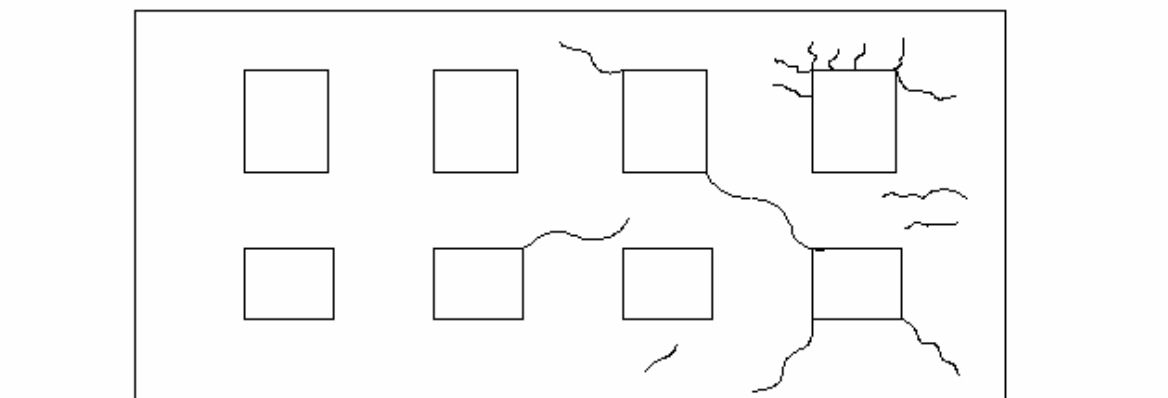
#### 3.1.1 Příčiny poruch, zatěžovací účinky a vlivy

Nejprve je nutno si definovat několik pojmů. Prvním je pojem **porucha konstrukce**, čímž je myšlena změna konstrukce proti původnímu stavu vyvolanou zatěžovacími účinky a vlivy ve stadiu realizace a užívání, která zhoršuje její spolehlivost. **Vada konstrukce** je nedostatek konstrukce způsobeným chybným návrhem nebo provedením. **Nosná způsobilost** je schopnost konstrukce plnit požadované nosné funkce z hlediska mezních stavů použitelnosti a únosnosti při působení statických a dynamických zatížení. Výsledkem statických poruch jsou nejčastěji trhliny, mechanické rozrušování materiálů nebo deformace konstrukce.

Statické poruchy jsou projevem reakcí konstrukcí na různé druhy zatížení a jejich kombinace. Jsou to např. statické zatížení, deformační účinek zatížení a statické zatížení s deformační složkou.

Příčinou některých poruch nemusí být jen statické zatížení. V takovém případě hovoříme o nestatických poruchách. Ty jsou způsobeny interakcí materiálů použitých na jednotlivé konstrukce a vnějšího prostředí. Projevy poruch tohoto typu se vyznačují zvýšenou vlhkostí, chemickými, mineralogickými a biologickými procesy, které zhoršují požadované vlastnosti konstrukce a způsobují její postupnou degradaci a vypršení lhůty její životnosti ještě před dobou stanovenou projektem.

„**Odezvou konstrukce** na statické zatížení s dynamickou složkou, popř. na dynamická zatížení je časově závislá deformace, přetvoření nebo porucha (v čase dochází k postupnému nárůstu, rozvoji a šíření poruch).“ [15]



obr. č. 3.1 – trhliny způsobené dynamickým zatížením

Stavební objekty, jenž vyžadují zvláštní pozornost jsou stavební konstrukce a budovy vystavené **účinkům dynamického zatížení** od technologických zařízení a strojů, od dopravy, nárazů zvukových vln nebo vystavení účinkům způsobeným opakujícími se odstřely (např. v blízkosti lomů). Při velmi vysokých frekvencích dynamicky namáhaný materiál mění své mechanické vlastnosti. U ostatních případů lze uvažovat mechanické vlastnosti, jenž byly stanovené statickými zkouškami. Ve stadiu proměnné odezvy konstrukce v čase nastává únava materiálu. Napětí na mezi únavy se snižuje tím více, čím více je počet opakujících se cyklů zatížení.

U zděných staveb dochází zejména k nízkocyklické únavě, k postupnému rozvoji trhlin a nárůstu plastických deformací při dosažení počtu cyklů v intervalu od  $10^2$  do  $10^5$ . Jako první projev tohoto nežádoucího účinku můžeme pozorovat vznik vlasových trhlin v omítce, ve styčích různých materiálů, v rozích otvorů a následně nato postupně opadává omítka a trhliny se dále rozšiřují do nosných zdí. Se vznikem trhlin, a jejich následným rozvojem, se pojí postupná ztráta stability celé konstrukce a také ztráta prostorové tuhosti. Pokud dynamické účinky zatížení neustávají (např. při opakovaném seismickém odstřelu, nárazu silné zvukové vlny, apod.) a dojde k překročení mezních plastických deformací dochází k úplné destrukci objektu, popř. ztrátě stability.

Mechanické poruchy od dynamických účinků (odpadávání omítky, trhliny v rozích otvorů, ve styku zdi a ve fabionech, uvolnění uložení stropů, uvolněné překlady, trhliny nepravidelně uspořádané) jsou velmi podobné trhlínám vyvozených od

vodorovných složek zatížení. Význačným rysem trhlin od dynamických účinků je to, že trhliny netvoří „souvislý obrazec“, který odpovídá průběhu izostat od určitého – dominantního – účinku zatížení.

Mezi nejnepříznivější dynamické účinky působícím na budovy jež se nacházejí v uliční zástavbě patří účinky způsobené pohybem kolových a kolejových vozidel (brzdné a rozjezdové síly, kmitání přenášené podložím).

Z hlediska statického posouzení jsou významnými vlastnostmi pevnost a tuhost dané konstrukce. Pokud se zaobíráme otázkou dynamického posouzení, tak vedle pevnosti a tuhosti hraje velkou roli také hmotnost. Těžké zděné budovy s velkou setrvačnou hmotou jsou totiž choulostivější na působení dynamického zatížení. Oproti ocelovým konstrukcím mají betonové a zděné konstrukce rychlejší útlum. Horizontální pohyb zemského povrchu dosahuje v průběhu zemětřesení 0,3 až 0,5 násobek (i více) gravitačního zrychlení – tato vodorovná složka má pro budovy nejzávažnější následky.

Při rozboru **statických poruch** vycházíme z charakteru a průběhu trhlin. Vznik trhlin je spojen s místy, kde působí největší namáhání, ale zároveň vznikají i v místech menší pevnosti. Průběh trhlin je tedy dán nehomogenitou a nestejnorodostí materiálu konstrukce. Následkem toho velmi často dochází k tomu, že průběh trhlin se liší od průběhu napětí, popř. i ke změně způsobu porušení. Poruchy můžeme klasifikovat do tří kategorií:

- **tahové trhliny** – jejímž znakem jsou rozevření trhliny s neporušeným obrysem trhliny
- **smykové trhliny** – poznáme podle posunutí v trhlíně a porušeným obrysem trhliny
- **tlakové trhliny**, větvení trhlin, drcení materiálu, odlupování a vrásnění povrchových vrstev

**Tahové trhliny** vznikají ve směru kolmém k hlavnímu tahu, tzn. ve směru tlakových trajektorií, **smykové trhliny** se objevují v místech, v němž smykové napětí dosáhne maximální hodnoty při určité složce normálového napětí, **tlakové porušení** nastane nejčastěji v oblasti koncentrace a výskytu špičkových normálových napětí v tlaku.

**Porušení** konstrukce či daného materiálu nastane obvykle v případě, je-li v některém místě překročena mez pevnosti nebo mez přetvoření materiálu. Přetvoření se

děje v návaznosti s rozrušením atomové mřížky tuhého tělesa. Samotnému porušení však předchází řada dílčích poruch a v počátečních etapách představuje restrukturalizaci atomů uskupených v pravidelných vzdálenostech a geometrických útvarech. Prostor mezi krystaly jsou vyplněny mezikrystalickou vrstvou. Elastické změny si vysvětlujeme působením vzájemných sil mezi jednotlivými atomy.

Je několik teorií, kterými si vysvětlujeme porušení tělesa. Jedna z nich považuje za rozhodující faktory při poruše tělesa v daném bodě buď **mezní hodnotu napětí**, nebo **přetvoření** (deformace). Ta další, založená na novějších poznatcích o energiích říká, že porušení tělesa se vztahuje k jistému množství vykonané **přetvárné práce**.

„Častou příčinou poruch stavebních konstrukcí je překročení **mezní pevnosti v tahu** nebo **ve smyku**, a to i u konstrukcí namáhaných (zatížených) převážně tlakem (např. svislé konstrukce).“ [15]

Nejčastější poruchy zděných konstrukcí, jež jsou složeny z cihelných, kamenných a smíšených zdících prvků, jsou poruchy způsobené tahovými a smykovými trhlinami. Výše uvedené materiály mají pevnost v tlaku větší než pevnost v tahu. Pevnost v tahu u cihelných, kamenných a smíšených prvků je přibližně 1/12 až 1/5 pevnosti v tlaku, na rozdíl např. od oceli, kde poměr pevnosti tahu a tlaku je 1:1, nebo dřeva, které má ve směru vláken pevnost v tahu vyšší než ve směru kolmo k vláknům.

**Namáhání tahová**, jež vznikají například v dostředně tlačeném prvku jako je klenba, pilíř nebo stěna, mohou být způsobena různorodostí materiálu zděné konstrukce, náhlou změnou tloušťky zděné stěny, klenby apod., nahromadění tlakového namáhání na dílčí části průřezu prvku, kupříkladu v oblasti kde se vnáší zatížení apod. Tahová namáhání mají velmi často svůj původ při působení klimatických vlivů, jako vlhkost a teplota. Působení těchto tzv. nesilových účinků má za následek závažné mechanické stavy napjatosti a v návaznosti na to poruchy konstrukcí v důsledku svého nelineárního nebo nerovnoměrného průběhu po průřezu prvků, zamezením volné objemové nebo tvarové změně prvku od výše zmíněných vlivů, popř. vzájemným spolupůsobením prvků nebo vrstev (vícevrstvé prvky) s rozdílnou tendencí k primární objemové změně.

„Tahová namáhání zpravidla vznikají v místech zakřivení tlakových trajektorií, v místech jejich odklonu od střednicové čáry prvku v důsledku materiálových, geometrických a mechanických imperfekcí a charakteru zatížení“ [15]

Naproti tomu příčinou **smykového namáhání** je vzájemná interakce a spolupůsobení částí prvku nebo prvků celých v rámci celého systému.

**Tlakové porušení** nejčastěji nacházíme v okolí uložení překladů, trámů a průvlaků a v oblasti plastických kloubů u kleneb. Tedy tam, kde je koncentrace tlakového namáhání největší.

Jako hlavní prevenci proti vzniku poruch je zaopatřit zděný objekt proti tahovým namáháním (i když nejsou prokázána výpočtem). Poruchy vznikají také při absenci nebo nedostatečné dimenzi ztužujících prvků, jako jsou např. táhla, kleštiny, věnce, atd. Příčinou statických poruch mohou být:

- neúměrné namáhání vertikálního prvku v průběhu celého průřezu nebo pouze jeho části v uložení stropní konstrukce.
- změna stavu napjatosti oproti původnímu návrhu
- malá únosnost objektu vlivem špatného provedení nebo působením degradačních činitelů
- otřesy a dynamické zatížení
- působení vlhkosti, teploty, biologické a chemické koroze, neodborné zacházení
- vzájemné spolupůsobení sousedících konstrukcí
- extrémní teploty v okolí komínů
- materiálové vady (nehomogenita, nestejnoroďost, imperfekce, atd.)

Nejčastější poruchy nenosných konstrukcí (příčky, stěny, povrchové úpravy, kompletační a doplňkové konstrukce, atd.) jsou tvořeny hlavně namáháním, které je způsobené spolupůsobením s hlavní nosnou konstrukcí vlivem vynucené deformace.

U obalových konstrukcí, jež jsou v přímém kontaktu s externím prostředím jsou objemové (vlhkost, teplota, účinky reologické) změny příčinou namáhání, stejně jako vlivy a účinky biologické a chemické:

- vlivem vzájemného spolupůsobení s konstrukcí nosnou jsou prostřednictvím spojů a styku do těchto konstrukcí aplikovány přetvárné a silové účinky, jež mají za následek jejich narušování a mechanické poruchy (např. u tzv. nenosného pláště obvodového, obkladových a podlahových konstrukcí, vestavěných příček a stěn, předsazených konstrukcí, atp.)
- vzájemným spolupůsobením konstrukcí tohoto typu a systému nosného jsou z důvodu zabránění jejich přetváření v souladu s působením reologických změn, vlhkosti a teploty, evokovány stavy napjatosti (mechanické), které jsou opakované a jež způsobují časem poruchy (povrchové úpravy, obvodový plášť, vestavěné konstrukce)
- „interakcí jednotlivých částí a vrstev složených a vícevrstevných (kompozitních) prvků, popř. materiálů a konstrukcí s rozdílnými fyzikálně mechanickými, popř. mineralogicko chemickými vlastnostmi jednotlivých vrstev a částí složených prvků (modul pružnosti, přetvárnosti, pevnost, součinitel difúzního odporu, součinitel tepelné roztažnosti, pórovitost, součinitel vlhkostní roztažnosti, apod.) vznikají mechanické stavy napjatosti způsobené rozdílnou tendencí k primární objemové změně a přetváření, které předchází porušování jednotlivých vrstev, rozvrstvování složených prvků, apod. Řada poruch bývá způsobena nevhodnými fyzikálně mechanickými vlastnostmi adhezních vrstev (obvodové konstrukce jedno a vícevrstvé, povrchové úpravy, dlažby, obklady, apod.)“ [15]
- chemičtí a biologičtí činitelé, kteří povětšinou doprovázejí zvýšenou vlhkost materiálů s vysokou porézností, zapříčiňují změnu vlastností těchto materiálů v čase, jež jsou spojené s korozí a degradačními procesy materiálů. Tyto výše zmíněné negativní procesy radikálním způsobem ovlivňují opakující se účinky vlhkosti a teploty. Vlivy a účinky tohoto typu se projevují zvláště postupným rozpadem, narušováním a oddělováním vrstev povrchových a úprav (nátěry, dlažby, obklady, omítky) od konstrukcí, které tvoří podkladovou část. Pokud není těmto poruchám zabráněno v dalším postupném rozšiřování, tak mají rozhodující a konečný vliv na provozuschopnost a celkovou životnost konstrukcí.

Velmi často je jako příčina zděných konstrukcí je nedostačující pevnost v tlaku zdiva, což se projevuje drcením, opadáváním vrstev povrchových a trhlinami. Pevnost v tlaku je závislá na:

- I. rozměrech cihel a jejich pevnostech v tahu a v tlaku
- II. soudržnosti a tloušťce malty se zdíciemi tělesy a taktéž na její pevnosti v tahu a tlaku
- III. poruchy zdiva, jež vznikly v průběhu užívání stavby
- IV. vady zdiva, které mají svůj původ v době výstavby (nedodržená technologie při provádění zdiva)
- V. vady zdiva, pocházející z projektové fáze
- VI. nedodržená vazba cihel

**Vady zdiva** jsou zapříčiněny nesprávným nebo nedokonalým provedením (nejčastěji nedodržená řádná vazba zdiva), nebo nepřesně provedenou projektovou dokumentací. Únosnost zdiva se snižuje prostřednictvím snižováním objemu zděných prvků, narušováním celistvosti zdiva a rozpadem jeho základních složek.

### 3.2 Trhliny

V této kapitole podrobněji rozebereme trhliny, jejich vznik, druhy, způsob jejich poznávání, atd., jako doplnění k již výše zmíněným poznatkům.

Možné poruchy na zděné stavbě se pozná právě díky přítomnosti trhlín, které jsou viditelným a dle jejich charakterickým rysům jasně rozpoznatelným ukazatelem toho, že něco není v pořádku. Jedná se o tyto konstrukce:

- stěny (obvodové, příčky)
- sloupy
- pilíře
- obvodové pláště

V materiálu, na něj působí určitým způsobem namáhání, vzniká napětí. Pokud je toto napětí tak velké, že překročí mez pevnosti materiálu dojde ke vzniku trhlin. Trhliny můžeme sledovat dle tvaru, množství, množství a šířky a podle toho lze usoudit možnou příčinu poruchy a její závažnost.

**Rozdělení trhlin** -trhliny lze rozdělit do několika kategorií:

Podle pohybu se trhliny dělí na:

- A. pasivní
- B. aktivní

Podle závažnosti se trhliny dělí na:

- A. závažné – tyto trhliny jsou široké pasivní a většina jich je aktivních
- B. neškodné – příčinou jejich vzniku je např. tvrdnutí malty, vysychání omítek, atp. (viz. obr. č. 2.1)



obr č. 3.2 - síťové trhliny s rozvětvením ve tvaru Y (tzv. trhliny způsobené smršťováním) – porušení způsobené chybami v omítce [2]

Dle způsobu namáhání se trhliny dělí na:

- A. tlakové – jejich projevem je odlupování omítky nebo drcení zdíčního prvku v místě probíhající trhliny



B. tahové – typické svými neporušenými okraji a rozevřením v místě probíhající trhliny

C. smykové – poznáme podle posunutí v trhlíně

Pouze přibližně lze určit **stáří trhliny**, a to podle množství prachu v ní usazené. Závažnost trhlín lze určit podle tabulky 2.1, která udává poškození, podle které lze klasifikovat jak účinky dynamického porušení, tak i statického. Tato tabulka je převzata z normy ČSN 73 0040.

**Tabulka 3.1 – Stupně poškození objektů [6]**

| Stupeň poškození | Popis poškození   |
|------------------|---|
| 0                | Bez poškození. Nevznikají žádná viditelná poškození. Funkce objektů, jako např. vodotěsnost nádrží apod. jsou plně zachovány.   |
| 1                | První známky poškození, trhliny do šířky 1 mm na styku stavebních prvků (ve stropních fabionech)  |
| 2                | Lehká rozrušení s malými škodami. Trhliny šířky do 5 mm v omítce, příčkách, v komínovém zdivu, opadávání omítky, uvolnění krytiny.  |
| 3                | Střední rozrušení s vážnými škodami. Stabilita není ohrožena. Trhliny širší než 5 mm v příčkách i v nosných zdech, opadávání krytiny a částí komínů.  |
| 4                | Značné rozrušení s nebezpečnými škodami. Trhliny v nosných zdech a překladech ohrožující jejich statickou funkci. Zřícení příček výplňového zdiva a komínů. Trhliny v prostém betonu. Porušení stability. |
| 5                | Úplné rozrušení a destrukce. Zřícení cihelných staveb, nebo jejich částí s hlavními nosnými prvky. Trhliny i v železobetonu.  |

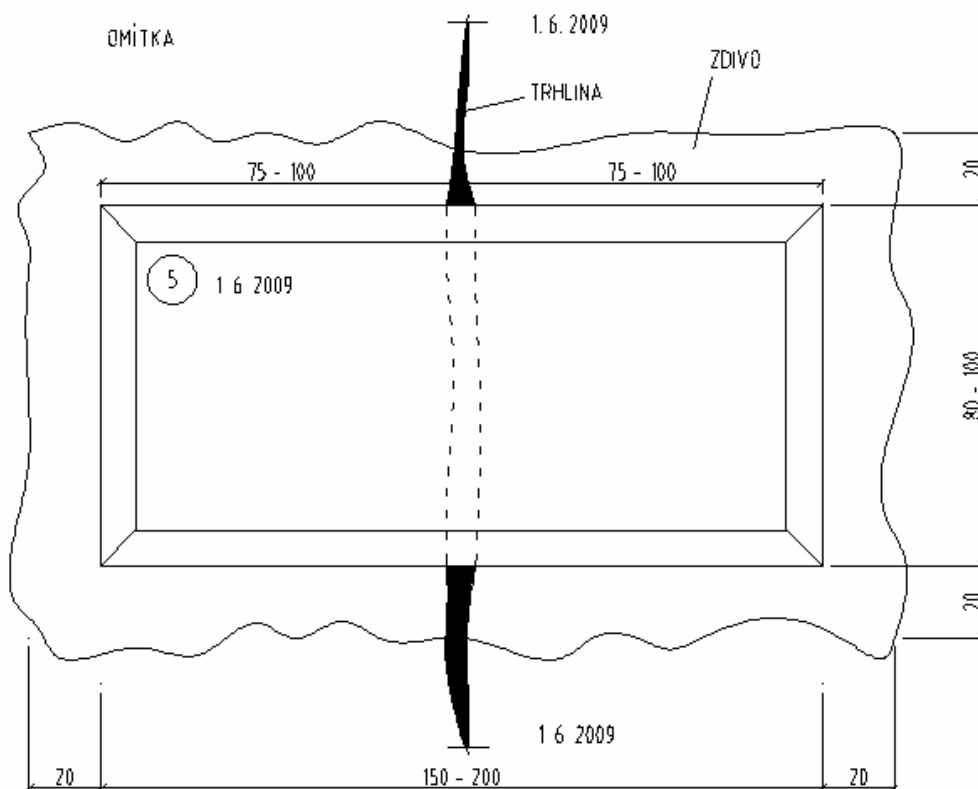
Aby mohl být určen správný a efektivní postup při sanaci trhlín, musí jí nejprve předcházet podrobný stavební průzkum, při němž je nutno zjistit:

- A. možný původ vzniku trhlín
- B. stáří, počet a umístění trhlín
- C. jestli je trhlina aktivní nebo pasivní (pohyby v trhlínách)
- D. délka, šířka, tvar, průběh trhliny

Na základě těchto indicií je poté možné učinit závěr jak moc je porucha závažná a navrhnout příslušná opatření.

Trhlina je pasivní tehdy, jestliže ji sledujeme po dobu 1 roku (nejméně však šesti měsíců) a během této doby neprojevila žádný pohyb. Pakliže se ovšem objevila jakákoli aktivita je prohlášena za aktivní. Sledování pohybu trhlín se děje prostřednictvím sádrových destiček nebo také ocelových trnů. Při sledování trhlín se musí dbát na to, aby se zaznamenaly veškeré klimatické podmínky jako vnitřní a vnější teplota, sluneční aktivita, atp., sledování musí být také pravidelné. Výstup výsledných zaznamenaných hodnot se staví ve formě grafu nebo se sestaví v podobě přehledné tabulky a následně se vyhodnotí. Na těchto podkladech se navrhne postup nejvhodnější sanace.

Nejsnadněji se pohyby ve zdivu určují pomocí sádrové destičky, která má tloušťku 8–10 mm. Místo, ve kterém chceme sledovat aktivitu trhliny, oklepeme od omítky a dostatečně navlhčíme, aby sádrová destička dobře přilnula k povrchu zdiva. Osazená destička se opatří datem, ve kterém byla provedena. Přesah destičky přes trhlínu musí být 80 – 100 mm. Pokud je trhlina aktivní, její pohyb se projeví i na sádrové destičce a konec této trhliny se prodlouží za dřívější značky. Pokud je destička nesprávně provedena a dojde k její oddělení na jedné straně od podkladu, nebo je jinak značně poškozena, nechá se na svém původním místě a v její blízkosti se provede osazení nové destičky s příslušným značením.



obr. č. 3.3 – schéma sádrové destičky

Jestliže je původ trhlin v **nerovnoměrném sedání základů**, výskyt trhlin se omezuje zejména na spodní patra objektu a směrem k vyšším podlažím se jejich počet, hustota a šířka snižuje, až zcela zanikají. Je-li trhlina způsobena vlivem teploty, je koncentrace trhlin buď převážně ve vyšších podlažích, nebo je jejich výskyt rovnoměrný po celé výšce konstrukce.

### 3.2.1 Příčiny vzniku trhlin

Trhliny objevující se ve stěnách mohou mít za příčinu následující činitele:

#### A. Sedání základů, které probíhá nerovnoměrně, způsobené tím, že:

- a) **Nedodržená předepsaná nezámrazná hloubka při provádění základů** – pokud je objekt založen v oblasti zámrazné hloubky, dochází, pokud teplota klesne pod 0 °C, k zamrznání podvrchové vody. Tím dojde k navýšení objemu základové půdy zhruba o 10 % a vznikne nadměrný tlak na základy. Ty se působením

tohoto tlaku nadzvedávají a deformují, což má za následek vznik trhlin v nadzemních částech konstrukce.

**b) Došlo ke změně vodních poměrů v základové spáře** – což může nastat v případě:

- navýšení hladiny vody v základové půdě a následně podmáčení základů
- při nadměrných dešťových srážkách nestíhá zem odebírat vodu a dojde také k pomáčení základů
- dojde k poruše na kanalizaci nebo vodovodního potrubí a únik vody má za následek podmáčení základů
- nečekaně klesne hladina podzemní vody (např. v letních měsících v období velkého sucha)
- nově vysazené dřeviny mohou také odebírat vlhkost z půdy

**c) Špatně provedené nebo úplná absence dělicích spár**

- u konstrukcí založených na nehomogenních zeminách
- různé části objektů mohou mít různá zatížení
- u částí budov, které nemají stejnou výšku
- u částí budov, jež mají základy v různých úrovních
- u budov, které nemají ve všech částech stejné založení (např. základové pásy, piloty, patky, atp.)
- mezi nově přistavěnou částí objektu a již stávající budovou
- u staveb, jež jsou půdorysně velmi rozsáhlé, jsou zatíženy velkým zatížením a nebo mají velkou členitost
- v prostorách, kde je umístěno strojní zařízení, které vyvoluje nadměrné vibrace
- u staveb postavených na poddolovaném území

**d) došlo k posunutí základové půdy:**

- z důvodu použití nekvalitního zdiva na spodní stavbu – po odkopání zeminy se může zdivo vydrolit a dojde ke zřícení zdi
- v případě, že se poblíž základové spáry provádí neodborným způsobem výkop, který může způsobit její pokopání

- u staveb založených na svahovitém terénu
- špatným založením vedle stojícího objektu
- provedením stavby na vysoce stlačitelných zeminách

## **B. Přetížením objektu**

- a) Přetížení nepřímé – např. účinky, jež jsou způsobené teplotními vlivy, sednutím zdiva, dotvarováním, smršťováním, poklesem podpor, atd.
- b) Přetížení přímé – z důvodu špatného užívání stavby, neodborně vykonané nástavby, změny původně plánovaného zatížení.

**Dynamickými účinky** z důvodu uměle vyvolané (technické) nebo přirozeně se vyskytující seismické aktivity. Na našem území se seismická aktivita vyskytuje jen minimálně, proto můžeme území České republiky zařadit do oblasti s malou seismickou aktivitou. Omnoho závažnější problém představuje technická seismická. Mezi její původce se řadí:

- těžká silniční a železniční doprava
- stavební a jiné stroje
- beranidla, lisy, buchary
- odstřely budov nebo v kamenolomech
- letadla

Otřesy šířící se zeminou způsobují zhutňování zeminy, tím nerovnoměrně sedají základy a dochází k poruchám nadzemní části budovy. Při dlouho opakujících se dynamických účincích může dojít až k destrukci budovy.

Hlavním poznávacím znakem trhlin způsobených dynamickými účinky je, že nevytvářejí souvislé obrazce, ale jsou roztroušeny a dá se říci chaoticky umístěny na poškozené části budovy. To je hlavní rozdíl oproti trhlinám způsobených statickým zatížením, jež mají jasný tvar a průběh (trhliny smykové, tlakové a tahové), podle něhož můžeme rozpoznat příčinu porušení.

Jak je již uvedeno v předchozí kapitole, průběh vzniku trhlin způsobených dynamickými účinky je takový, že se nejprve vyskytují vlasové trhliny v omítce, které se dále rozšiřují a následně dochází k opadávání omítky. Následují trhliny v místě uložení stropních nosníků, ve fabionech, překladů, atd.



obr. č. 3.4 – závažnější trhliny v omítce

Toto vše má za následek zmenšení tuhosti příslušné části konstrukce a také ztrátu prostorové tuhosti objektu jako celku. Pokud dynamické namáhání neustává, může dojít až k destrukci celé budovy.

**Působením dotvarování a smršťování** – je nezávislé na působení napětí a vzniká přechodem vody ze zdiva do omítky.

**Působením teploty** – vzniká především při absenci dilatačních spár, popř. při jejich nekvalitním nebo neodborném provedení. Působení teploty se také výrazně projevuje na nadměrně osluněných částech budov. Nadměrné oslunění způsobuje také teplotní deformace a tím pádem zapříčiňuje také vznik trhlin jak v obvodových, tak i na přilehlých stěnách vnitřních.

## 4. ZKUŠEBNÍ POSTUPY

### 4.1 Pevnost v tlaku destruktivně

Nevýhodou této metody je, že dojde k poškození konstrukce. Odebrané vzorky z konstrukce se musí nahradit sanačním materiálem, jenž má srovnatelné vlastnosti a pevnost s materiálem původním. Např. pokud se při provádění jádrových vývrtů nechá po skončení odebírání vzorků vývrt otevřený, může to být zdroj dalšího poškození. A tak činnost, která měla budově původně pomoci může následně stávající stav ještě více zhoršit

#### 4.1.1 Pevnost v tlaku na vzorcích odebraných z konstrukce

Postup stanovení pevnosti v tlaku zdících prvků je určen v normě ČSN EN 772-1. Norma ukládá jako minimální počet vzorků na zkoušení 6 ks, ale dle specifikace výrobku lze minimální počet vzorků navýšit. Tento požadavek se poté musí dodržet. Reprezentativní části zdících prvků, jako je např. krychle se vyřezávají z různých (na kraji, ve středu konstrukce, apod.). Pevnost v tlaku se následně stanoví jako průměr z celkového počtu zkušebních vzorků.

Rozměry normalizovaného zkušebního tělesa jsou 100x100 mm při odchylce 0,1 mm. Normalizovaná pevnost v tlaku se získá přepočtem zdících prvků na pevnost přirozené vlhkosti, což je  $6 \pm 2 \%$ , která se ještě vynásobí součinitelem vlivu výšky a šířky tělesa.

#### 4.1.2 Pevnost na vzorcích vyrobených z jádrových vývrtů

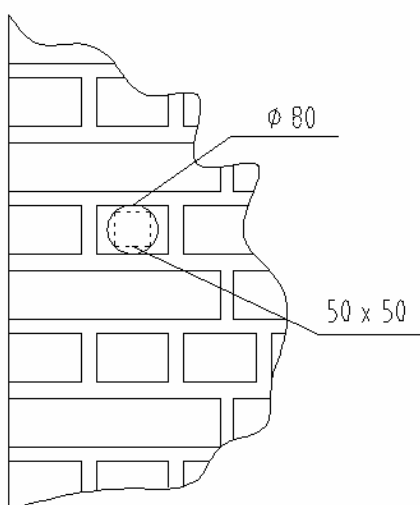
U zděných konstrukcí, kde je malta natolik kvalitní, že nedovoluje odebrat celý neporušený vzorek, se volí postup vyjmutí vzorků pomocí jádrových vývrtů. Z nich se následně vyřezou reprezentativní tělesa. V praxi se nejčastěji uplatňují vývrty o průměru 50 mm. U vývrtů o průměru 75 mm a více se doporučuje provádět vývrt do vazáku přes celou délku cihly. Tento poslední zmiňovaný jádrový vývrt lze posléze upravit na pravidelné těleso o rozměrech 50x50x290 mm, které je vhodné pro

laboratorní zkoušku v tahu za ohybu o vzdálenosti podpěr 200 mm. Po zlomení tělesa lze z rozlomeného vzorku vyřezat několik krychlí o hraně 50 mm a ověřit pevnost cihly v tlaku ve směru zatížení shodným se zatížením cihly v konstrukci.

Při větším počtu zkušebních vzorků se mohou projevit rozdílné vlastnosti v různé hloubce prvku nebo zdiva. U povrchu konstrukce může být zdivo degradováno vlivem mechanického poškození, zmrazovacími cykly nebo vlhkostí.



obr. č. 4.1 - Způsob odběru jádrového vývrtu ze zděné konstrukce [16]



obr. č. 4.2- Schéma odběru jádrového vývrtu ze zděné konstrukce



## **4.2 Pevnost v tlaku – nedestruktivně**

Tyto zkušební metody jsou převzaty z metod používaných pro zkoušení betonů, a to dle normy ČSN 73 1373. Z těchto se pak ujaly dvě metody, které se převážně používají pro nedestruktivní zkoušení zdících prvků – Waitzmanův tvrdoměr a Schmidtovo kladívko.

### **4.2.1 Waitzmanův tvrdoměr**

Waitzmanův tvrdoměr vznikl upravením Poldi kladívka, jež slouží pro zkoušení tvrdosti ocelových prvků. Dominantní a zároveň hlavní částí tvrdoměru je ocelové razidlo (vlastní tělo tvrdoměru) se dvěma kuličkami o průměru 10 a 20 mm.

Po přiložení tohoto přístroje na zkušební vzorek se úderem kladiva vyvodí vnější náraz. Menší kulička se nato zatlačí do srovnávacího prvku a současně se větší kulička orazí přes papírovou fólii na zkušební vzorek.

Vyhodnocení zkoušky se provádí tak, že se změří průměry vtisků na zkušebním tělese a na srovnávacím ocelovém prvku a dle přiložené tabulky, jenž je součástí přístroje, se odečte pevnost v tlaku cihelného zdiva.

Zkoušky tohoto typu pomocí Waitzmanova tvrdoměru lze provádět i na konstrukcích, kde cihly nejsou dobře zakotvené. Výsledky jsou objektivní, avšak pracné na vyhodnocení.

### **4.2.2 Schmidtovo kladívko (odrazový tvrdoměr)**

Pro zkoušky cihelných prvků se používá odrazový tvrdoměr typu LB. Ten se vyznačuje výrazně menším poloměrem kulové plochy razníku oproti typu L.

Zkušební vzorky se před zkouškou upnou do lisu a zatěžují se zhruba na 10 % předpokládané pevnosti. U tohoto typu zkoušky je potřeba srovnání výsledků s destruktivními zkouškami. Před započítáním zkoušení je potřeba povrch cihly zabrousit,

kvůli srovnání povrchu a očištění od případných nečistot, které by mohly mít vliv na výslednou pevnost zkoušené cihly. Jako minimální počet měření se doporučuje 5, optimální je však 8 až 10 opakování zkoušky. Hodnoty platných zkoušek se nesmí lišit o více než 20 % oproti průměrné hodnotě. Pakliže jsou některé výsledky mimo tento interval, je nutno je vyloučit a nezapočítávají se do stanovení konečné průměrné hodnoty pevnosti v tlaku.

Jelikož normové kalibrační vztahy jsou určeny pouze pro beton, bylo experimentálně vytvořeno několik kalibračních vztahů pro staré a nové cihelné prvky. Také je možné upřesnit korelační vztah tvrdostí, jenž byla stanovena Schmidovým odrazovým tvrdoměrem a pevností v tlaku na vzorcích odebraných z konstrukce.

Tvrdoměrné metody obecně jsou vhodné pro cihly plně pálené. U těchto cihel jsou výsledky vcelku objektivní. U cihel voštinových a děrovaných tvarovek jsou výsledky díky jejich dutinám zkreslené a jsou tudíž nevhodné pro zkoušení touto metodou.

### 4.3 Metody zjišťování pevnosti malty ve spárách

Metody, jenž můžeme použít pro zkoušky pevnosti malt tohoto typu, jsou:

- **vrypové metody** - založené na zvolení vhodných kalibračních vztahů,
- **metody lokálního porušení** – které závisí na hloubce navrtání v závislosti na zvoleném kalibračním vztahu
- **obsah pojiva** – stanovené na základě chemického rozboru

U takových konstrukcí, kde tloušťka ložné spáry je dostatečně velká a pevnost malty má dostatečnou pevnost, lze vyrobit ze spár vzorky a na nich vyzkoušet pevnost v tlaku. Tato zkouška se provádí dle normy ČSN EN 1015-11. Rozhodujícím faktorem je tedy tloušťka ložné spáry. U dříve postavených starších konstrukcí není mocnost ložné spáry větší než 15 mm.

Jednou z možností jak získat vzorek je vlačování indentoru (tělíska) do maltového lože. Nejefektivnějším tvarem indentoru se ukázalo být tělísko válcovitého typu

s průměrem 4 mm a ryskami po 5 mm. Indentor se zatlačí do malty energií 1 J, což odpovídá úderu kladiva o hmotnosti 1 kg na vzdálenost 10 cm.

Tato metodika se moc často nepoužívá z důvodu vzniku značných chyb, jež neúmyslně zavádí do měření a následného převodu pomocí kalibračního vztahu lidský faktor.

#### 4.3.1 Odrazový tvrdoměr - Schmidt PM

Skládá se z kyvadlového indentoru, který pracuje s konstantní energií úderu. Dále sestává z razníku o průměru 8 mm, jež opisuje půlkruhovou dráhu.

Razník se nastaví do výchozí polohy a po zmáčknutí spouštěcího tlačítka dopadne na povrch malty v ložné spáře a následně se odrazí zpět. Z pozice odraženého indentoru lze poté odečíst příslušnou hodnotu a odvozením zjistit pevnost malty.

#### 4.3.2 Ultrazvuková impulsová metoda



obr. č. 4.3 - digitální ultrazvukový přístroj

Princip metody spočívá v měření času, kterým projde ultrazvuková vlna materiálem. K tomu slouží dvě sondy, z nichž jedna signál vysílá a druhá signál přijímá. Před každým použitím tohoto zařízení je nutné provést kalibraci.

Kalibrace se provádí měřením času, kterým projdou ultrazvukové vlny přes zkušební etanol. Naměřená hodnota musí být shodná s hodnotou uvedenou na etalonu. Pokud se naměřená hodnota shoduje přístroj je nakalibrován a připraven k dalšímu měření.

Měření se provádí přiložením sond na protilehlé strany zkoušeného vzorku. Při měření musíme zajistit, aby povrch jednotlivých sond dobře doléhal na povrch zkoušeného vzorku. To zajistíme buď nátěrem gelu na povrch sond, nebo tenkou vrstvou plastelíny, která vyrovná veškeré nerovnosti na hrubém povrchu zkoušeného vzorku a tím zajistí dobrý průnik ultrazvukových vln do zkoušeného tělesa.

Výsledkem měření je čas, kterým prochází ultrazvukové vlny měřicím místem. Pokud zadáme do přístroje i vzdálenost mezi jednotlivými sondami přístroj nám vypočítá i rychlost průchodu ultrazvukových vln. Ta je důležitá pro výpočet materiálových vlastností zkoušeného tělesa.

Využití tohoto přístroje je v diagnostice zděných staveb omezeno jen na laboratorní prostředí a zkoušení jednotlivých zdících prvků. Ultrazvuk je citlivý na přechod mezi jednotlivými materiály (cihly, malta), proto bývá prozvučování stěn většinou neúspěšné a nedá se stanovit dynamický modul pružnosti celé stěny.

Ultrazvuk slouží zejména ke zjišťování dynamického modulu pružnosti  $E_{bu}$ , který je závislý na rychlosti průchodu ultrazvukových vln, na objemové hmotnosti a součiniteli rozměrnosti prostředí. Dynamický modul pružnosti  $E_{bu}$  vypočítáme ze vzorce:

$$E_{bu} = \rho \cdot v_L^2 \cdot \frac{1}{k^2} \cdot 10^{-6}, \quad (1)$$

kde  $E_{bu}$  ... dynamický modul v tlaku nebo tahu [MPa]

$v_L^2$  ... průměrná impulsová rychlost [m/s]

k ..... součinitel rozměru prostředí; ( k = 1 pro prutové prvky)

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

kde  $\rho$  ..... objemová hmotnost [kg/m<sup>3</sup>]

$m$  ..... hmotnost cihly [kg]

$V$  ..... objem cihly [m<sup>3</sup>]

## 4.4 Ověření pevnosti v tlaku pomocí metody lokálního porušení

### 4.4.1 Kučerova vrtačka – TZÚS



obr. č. 4.4 – Kučerova vrtačka – PZZ 01



obr. č. 4.5 – popis Kučerovy vrtačky PZZ 01

Tato metoda je v praxi nejpoužívanější pro její rychlost a jednoduché vyhledání výsledků díky přepočítací tabulce viz. příloha I. Je vhodná pro zjištění pevností jak pro malty, tak pro cihelné zdivo. Je nutné ověřit pevnost modifikovaných vrtaček

Principem této metody je závislost pevnosti malty a odporu malty proti vnikání vrtáku, resp. hloubky navrtání. Průměr vrtáku činí 8 mm. Jelikož je tato metoda velmi oblíbená, ale její praktikování vyžadovalo velkou fyzickou činnost, byla vyvinuta **elektrická akumulární vrtačka PZZ 01**. Průměr vrtáku u této vrtačky je 6 mm.

Postup u této zkoušky je takový, že si nejprve dle druhu zjišťovaného vzorku zvolíme stupeň otáček. Stupnice se nastaví do polohy 1 pro malty a stupeň 2 odpovídá cihelným prvkům. Před začátkem vrtání je nutné očištění zdiva od nečistot, především pak očištění ložné spáry minimálně 20 mm od líce zdiva. Poté přiložíme vrtačku kolmo ke zkoušenému vzorku a začneme s vrtáním. Přítlak, na němž je rychlost vrtání závislá, je hlídán pružinou. Zkoušené místo volíme v tlačené oblasti prvku, a to ve vzdálenosti 50 mm od styčné spáry a následně 40 mm od předchozího zkušebního vrtu.

Hloubka navrtání se změří posuvným měřidlem a dle kalibračního vztahu se přepočte na pevnost v MPa. Zkoušené místo je platné pouze tehdy, neliší-li se průměr ze

3 hodnot o více než 30 %. Pokud dojde k tomuto případu, provede se nový vrt a nevyhovující se vyloučí z měření. V případě, že by ani náhradní nový vrt nevyhovoval předepsaným limitům, se zkušební místo nebereme v potaz. Informativní hodnoty pevnosti v tlaku míst se porovnají s kalibrační křivkou nebo tabulkou pro použitý stupeň 1 nebo 2. Kalibrační vztahy se také liší od daného druhu vrtačky. Existují tedy vztahy pro upravenou vrtačku a elektrickou vrtačku PZZ 01.

#### 4.5 Zkouška nasákavosti

Touto zkouškou se ověřuje do jaké míry je zdící prvek schopen přijímat vodu podle předepsaných podmínek. Tato schopnost se označuje jako nasákavost a její hodnota je určena procentuální hmotností vzorku vysušeného.

Pět odvážených a vysušených vzorků se svou nejmenší plochou umístí do připravené nádoby, která se naplní destilovanou nebo pitnou vodou. Zkoušené vzorky se ve vodě navzájem nesmějí dotýkat, hladina vody musí být minimálně 5 cm nad horním okrajem vzorku. Po dobu jedné hodiny se voda uvede do varu, v němž se udržuje ještě další 4 hodiny.

Po skončení procesu vaření se zkušební tělesa nechají odstát ve vodě po dobu 16 až 24 hodin.

Poté se tělesa postupně vyberou z vody, osuší se povrchově tkaninou a během 5 minut se musí zvážít.

Nasákavost (NV) pro každý jednotlivý vzorek se vypočte podle tohoto vzorce:

$$NV = \frac{m_n - m_s}{m_s} \cdot 100 [\%], \quad (3)$$

kde  $m_n$  je hmotnost nasáklého vzorku v g,

$m_s$  je ustálená hmotnost vysušeného vzorku v g. [5]

Výsledná hodnota nasákavosti se určí aritmetickým průměrem ze všech pěti zkoušených vzorků, jež se uvede v procentech na tři desetinná místa.

## 4.6 Zkouška pevnosti v tlaku

Nejprve je nutno očistit tlačné desky zkušebního a z tlačných ploch na vzorku se očistí nečistoty a drobné částečky zkoušeného materiálu. Zkoušené těleso se musí centricky umístit do lisu, aby lis působil na celý vzorek rovnoměrným zatížením. Pokud vzorek obsahuje prohlubeň umístí se tak, aby plocha obsahující prohlubeň byla otočena vzhůru. Jestliže vzorek obsahuje prohlubně v obou ložných plochách, umístí se tak, aby plocha obsahující větší prohlubeň byla směrem vzhůru. Případné další přídatné destičky se na tlačné desky lisu již nekládají.

„Výjimkou jsou zdící prvky, které se ve zdivu ukládají na obvodová žebra nebo na pruhy malty, a prvky, jejichž tlačné plochy byly upraveny broušením.“[9]

V tomto případě je možno použít čtyři destičky, které jsou dostatečně tuhé. Jejich šířka se musí rovnat tloušťce obvodových žebor a minimální délka musí být o 50 mm větší oproti příslušnému rozměru vzorku. Destičky se umisťují tak, že se dvě dají nad a dvě pod vzorek, přičemž jejich přesahy přes okraje musí být stejné.

### Ztěžování

Zatěžování se provádí plynulou a rovnoměrnou rychlostí až po dosažení síly, jež se přibližně rovná jedné polovině hodnoty zatížení při porušení vzorku. Následně se rychlost nastaví tak, aby se nejdéle za 1 minutu dosáhlo zatížení maximálního. Vhodné rychlosti pro zatěžování jsou uvedeny v tabulce.

Maximální dosažené zatížení se poté zaznamená.

**Tabulka 4.1 – Rychlost zatěžování**

| Předpokládaná pevnost v tlaku v $\text{N/mm}^2$ | Rychlost zatěžování ( $\text{N/mm}^2$ )/s |
|---|---|
| < 10  | 0,05                                      |
| 11 až 20  | 0,15                                      |
| 21 až 40  | 0,30                                      |
| 41 až 80  | 0,60                                      |
| > 80  | 1,00                                      |



Poznámka: U některých vzorků může během zatěžování zkušební zatížení několikrát kolísat, než se dosáhne největšího zatížení. To se projeví poklesem působící síly stroje vlivem plastického chování vzorků, po němž při dalším zatěžování zkušební zařízení vzrůstá až do dosažení největšího zatížení. Tento dočasný pokles zatížení může nastat několikrát, než se vzorek poruší. [12]

### **Výpočet a vyjádření výsledků**

Hodnota pevnosti v tlaku se vypočte podle vzorce, kde v čitateli je maximální zatížení při porušení vzorku a ve jmenovateli je plocha tlačené části vzorku. Za tlačanou plochu se považuje celková tlačaná plocha těles ukládaných ve zdivu buď plně do maltového lože nebo na pruhy malty nebo na obvodová žebra. Výsledná pevnost prvků se zaokrouhlí na 0,1 N/mm<sup>2</sup>.

### **Vyhodnocení výsledků**

Ze všech pevností zkoušených vzorků se následně vypočítá aritmetický průměr a výsledek se zaokrouhlí na 0,1 N/mm<sup>2</sup>.

### **Přepočet pevnosti v tlaku zdících prvků na normalizovanou pevnost v tlaku**

Pro potřeby navrhování, pokud se hodnota pevnosti v tlaku používá na prokázání shody se specifikací, se může tato pevnost přepočítat na normalizovanou.

Nejprve se provede přepočet pevnosti v tlaku určené dle této normy na pevnost v tlaku nacházející se ve stavu přirozené vlhkosti. Ta se následně přepočítá na normalizovanou pevnost v tlaku  $f_b$ . Pro tento účel slouží tabulka 5.2, která vyjadřuje vliv tvaru zdících prvků.

Jestliže je pevnost v tlaku stanovena na vyříznutých vzorcích z celých zdících těles, tak normalizovaná pevnost zjištěná na tomto vyříznutém vzorku se rovná normalizované pevnosti celého zdícího prvku.

**Tabulka 4.2 – Součinitel tvaru  $\delta$  vyjadřující vliv rozměrů zkušebního vzorku změřených po úpravě povrchu vzorku [12]**

| Šířka [mm]<br>Výška <sup>1)</sup> [mm]                      | 50   | 100  | 150  | 200  | ≥ 250 |
|---|------|------|------|------|-------|
| 40  | 0,80 | 0,70 | -    | -    | -     |
| 50  | 0,85 | 0,75 | 0,70 | -    | -     |
| 65  | 0,95 | 0,85 | 0,75 | 0,70 | 0,65  |
| 100   | 1,15 | 1,00 | 0,90 | 0,80 | 0,75  |
| 150   | 1,30 | 1,20 | 1,10 | 1,00 | 0,95  |
| 200   | 1,45 | 1,35 | 1,25 | 1,15 | 1,10  |
| ≥ 250   | 1,55 | 1,45 | 1,35 | 1,25 | 1,15  |
| <sup>1)</sup> Výška stanovená po úpravě povrchu vzorku.     |      |      |      |      |       |
| POZNÁMKA Mezilehlé hodnoty $\delta$ se stanoví podle přímky |      |      |      |      |       |

## 5. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Pro experimentální část byly vybrány dva druhy cihel. Jednu sadu tvoří 5 cihel plných pálených z historické stavby (Kasárna Kroměříž) – označení C1, C2, C3, C4, C5. Tyto cihly mají na první pohled rozdílné rozměry oproti novým cihlám vyrobených v současnosti. Jako druhý druh byly, pro porovnání, vybrány dvě cihly vyrobeny v současnosti s klasickými rozměry 290x140x65 a jsou označeny D1 a N1.

Cihla C1 a D1 byla pro lepší statistické vyhodnocení navrtána 60 vrtů. Na zbývajících cihlách (C2, C3, C4, C5) bylo vyvrtáno na každé 9 vrtů. Na cihlách C3, C4, C5 byla ještě před zkouškou Kučerovou vrtačkou (tedy před navrtáním) provedena zkouška ultrazvukem.

Výsledky pevností z jednotlivých vrtů se zprůměrují, z čehož vyjde konečná pevnost zdícího prvku.



obr. č. 5.1 - Měření rozměrů cihly



obr.č. 5.2 – Vybrané cihly pro experimentální část

### 5.1 Praktická část zkoušky Kučerovou vrtačkou:



obr. č. 5.3 – Provádění vývrtů do cihly Kučerovou vrtačkou PZZ 01



obr. č. 5.4 – Měření hloubky vrtu posuvným měřidlem



obr. č. 5.5 – Vyvrtané otvory Kučerovou vrtačkou PZZ 01

**Tabulka č. 5.1 – Fyzikální parametry cihel**

| Označení<br>cihly | Rozměry [mm] | Hmotnost [g] |
|-------------------|--------------|--------------|
| C1                | 310x152x62   | 5,001        |
| C2                | 305x150x65   | 5,343        |
| C3                | 315x155x75   | 5,975        |
| C4                | 317x153x76   | 5,544        |
| C5                | 312x156x73   | 5,890        |
| D1                | 290x140x65   | 4,070        |

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_{m,i}}{n} \quad (4)$$

$$S_{r,i} = \frac{1}{n-1} * \sqrt{\sum (R_{m,i} - R_m)^2} \quad (5)$$

$$R_{C1} = R_m - t_n * S_r \quad (6)$$

$R_m$  .... výběrový průměr vyšetřované pevnosti zjištěný z „n“ zkušebních těles

$S_r$  ..... výběrová směrodatná odchylka

$t_n$  ..... součinitel pro odhad dolní hranice konfidenčního intervalu průměru



**Tabulka č. 5.2 – Naměřené hodnoty ze zkoušky Kučerovou vrtačkou pro cihlu C1**

| Číslo vrtu | Hloubka vrtu [mm] | Pevnost [MPa] | Číslo vrtu | Hloubka vrtu [mm] | Pevnost [MPa] |
|------------|-------------------|---------------|------------|-------------------|---------------|
| 1          | 17                | 8,2           | 31         | 27                | 6,5           |
| 2          | 19                | 7,7           | 32         | 22                | 7,2           |
| 3          | 25                | 6,5           | 33         | 21                | 7,4           |
| 4          | 23                | 7,0           | 34         | 32                | 6,0           |
| 5          | 23                | 7,0           | 35         | 23                | 7,0           |
| 6          | 21                | 7,4           | 36         | 24                | 6,9           |
| 7          | 19                | 7,7           | 37         | 20                | 7,5           |
| 8          | 23                | 7,0           | 38         | 25                | 6,7           |
| 9          | 20                | 7,5           | 39         | 19                | 7,7           |
| 10         | 25                | 6,5           | 40         | 19                | 7,7           |
| 11         | 23                | 7,0           | 41         | 23                | 7,0           |
| 12         | 28                | 6,4           | 42         | 22                | 7,2           |
| 13         | 24                | 6,9           | 43         | 23                | 7,0           |
| 14         | 25                | 6,7           | 44         | 21                | 7,4           |
| 15         | 21                | 7,4           | 45         | 22                | 7,0           |
| 16         | 24                | 6,9           | 46         | 26                | 6,6           |
| 17         | 24                | 6,9           | 47         | 23                | 7,0           |
| 18         | 18                | 7,9           | 48         | 24                | 6,9           |
| 19         | 22                | 7,2           | 49         | 23                | 7,0           |
| 20         | 22                | 7,2           | 50         | 16                | 8,4           |
| 21         | 22                | 7,2           | 51         | 14                | 9,0           |
| 22         | 21                | 7,4           | 52         | 16                | 8,4           |
| 23         | 20                | 7,5           | 53         | 22                | 7,2           |
| 24         | 19                | 7,7           | 54         | 28                | 6,4           |
| 25         | 20                | 7,5           | 55         | 25                | 6,7           |
| 26         | 19                | 7,7           | 56         | 20                | 7,5           |
| 27         | 17                | 8,2           | 57         | 20                | 7,5           |
| 28         | 20                | 7,5           | 58         | 15                | 8,7           |
| 29         | 23                | 7,0           | 59         | 18                | 7,9           |
| 30         | 22                | 7,2           | 60         | 19                | 7,7           |

$$R_m = \frac{\sum^n R_{m,i}}{n} = \underline{\underline{7,3 \text{ MPa}}} \quad S_{r,i} = \frac{1}{n-1} * \sqrt{\sum (R_{m,i} - R_m)^2} = \underline{\underline{0,07523 \text{ MPa}}}$$

$$R_{C1} = R_m - t_n * S_r = 7,3 - 0,18 * 0,07523 = 7,29 \text{ MPa}$$

**Tabulka č. 5.3 – Naměřené hodnoty ze zkoušky Kučerovou vrtačkou pro cihlu D1**

| Číslo vrtu | Hloubka vrtu [mm] | Pevnost [MPa] | Číslo vrtu | Hloubka vrtu [mm] | Pevnost [MPa] |
|------------|-------------------|---------------|------------|-------------------|---------------|
| 1          | 9,0               | <b>11,2</b>   | 31         | 10,9              | <b>10,1</b>   |
| 2          | 9,5               | <b>10,9</b>   | 32         | 12,0              | <b>9,7</b>    |
| 3          | 10,0              | <b>10,7</b>   | 33         | 11,8              | <b>9,8</b>    |
| 4          | 11,0              | <b>10,2</b>   | 34         | 10,9              | <b>10,1</b>   |
| 5          | 8,0               | <b>11,9</b>   | 35         | 12,7              | <b>9,4</b>    |
| 6          | 10,0              | <b>10,7</b>   | 36         | 12,9              | <b>9,4</b>    |
| 7          | 11,0              | <b>10,2</b>   | 37         | 11,2              | <b>10,1</b>   |
| 8          | 12,0              | <b>9,7</b>    | 38         | 12,6              | <b>9,5</b>    |
| 9          | 13,0              | <b>9,3</b>    | 39         | 12,3              | <b>9,6</b>    |
| 10         | 10,5              | <b>10,2</b>   | 40         | 13,6              | <b>9,1</b>    |
| 11         | 9,0               | <b>11,2</b>   | 41         | 15,5              | <b>8,6</b>    |
| 12         | 11,0              | <b>10,2</b>   | 42         | 14,8              | <b>8,8</b>    |
| 13         | 9,5               | <b>10,9</b>   | 43         | 10,5              | <b>10,5</b>   |
| 14         | 11,5              | <b>9,9</b>    | 44         | 13,7              | <b>9,2</b>    |
| 15         | 11,0              | <b>10,2</b>   | 45         | 12,8              | <b>9,4</b>    |
| 16         | 11,0              | <b>10,2</b>   | 46         | 14,5              | <b>8,9</b>    |
| 17         | 11,4              | <b>9,9</b>    | 47         | 10,6              | <b>10,5</b>   |
| 18         | 12,0              | <b>9,7</b>    | 48         | 12,6              | <b>9,5</b>    |
| 19         | 11,5              | <b>9,9</b>    | 49         | 13,0              | <b>9,3</b>    |
| 20         | 11,0              | <b>10,2</b>   | 50         | 10,2              | <b>10,6</b>   |
| 21         | 11,8              | <b>9,8</b>    | 51         | 14,7              | <b>8,8</b>    |
| 22         | 13,2              | <b>9,3</b>    | 52         | 10,2              | <b>10,6</b>   |
| 23         | 12,2              | <b>9,6</b>    | 53         | 13,4              | <b>9,2</b>    |
| 24         | 14,3              | <b>8,9</b>    | 54         | 14,7              | <b>8,8</b>    |
| 25         | 15,2              | <b>8,7</b>    | 55         | 14,6              | <b>8,8</b>    |
| 26         | 20,1              | <b>7,5</b>    | 56         | 13,0              | <b>9,3</b>    |
| 27         | 13,2              | <b>9,3</b>    | 57         | 12,8              | <b>9,4</b>    |
| 28         | 10,2              | <b>10,6</b>   | 58         | 10                | <b>10,7</b>   |
| 29         | 10,2              | <b>10,6</b>   | 59         | 13                | <b>9,3</b>    |
| 30         | 11,4              | <b>9,9</b>    | 60         | 18                | <b>7,9</b>    |

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_{m,i}}{n} = \underline{\underline{9,8 \text{ MPa}}}$$

$$S_{r,i} = \frac{1}{n-1} * \sqrt{\sum (R_{m,i} - R_m)^2} = \underline{\underline{0,10574 \text{ MPa}}}$$

$$R_{D1} = R_m - t_n * S_r = 9,8 - 0,18 * 0,10574 = 9,78 \text{ MPa}$$

**Tabulka č. 5.4 – Naměřené hodnoty pro cihlu C2**

| Číslo vrtu | Hloubka vrtu [mm] | Pevnost $R_{m,i}$ [MPa] |
|------------|-------------------|-------------------------|
| 1          | 7                 | <b>12,7</b>             |
| 2          | 9                 | <b>11,2</b>             |
| 3          | 10                | <b>10,7</b>             |
| 4          | 7                 | <b>12,7</b>             |
| 5          | 8                 | <b>11,9</b>             |
| 6          | 9                 | <b>11,2</b>             |
| 7          | 7                 | <b>12,7</b>             |
| 8          | 7                 | <b>12,7</b>             |
| 9          | 11                | <b>10,2</b>             |

$$R_m = \frac{\sum^n R_{m,i}}{n} = \underline{\underline{11,78 \text{ MPa}}}$$

$$S_r = \frac{1}{n-1} * \sqrt{\sum (R_{m,i} - R_m)^2} = \underline{\underline{0,34766 \text{ MPa}}}$$

$$\mathbf{R_{C5}} = \mathbf{R_m} - \mathbf{t_n} * \mathbf{S_r} = \mathbf{11,78} - \mathbf{0,47} * \mathbf{0,34766} = \mathbf{11,62 \text{ MPa}}$$



**Tabulka č. 5.5 – Naměřené hodnoty pro cihlu C3**

| Číslo vrtu | Hloubka vrtu [mm] | Pevnost $R_{m,i}$ [MPa] |
|------------|-------------------|-------------------------|
| 1          | 18                | <b>7,9</b>              |
| 2          | 23                | <b>7,0</b>              |
| 3          | 19                | <b>7,7</b>              |
| 4          | 17                | <b>8,2</b>              |
| 5          | 14                | <b>9,0</b>              |
| 6          | 19                | <b>7,7</b>              |
| 7          | 17                | <b>8,2</b>              |
| 8          | 18                | <b>7,9</b>              |
| 9          | 17                | <b>8,2</b>              |

$$R_m = \frac{\sum^n R_{m,i}}{n} = \underline{\underline{7,98 \text{ MPa}}}$$

$$S_r = \frac{1}{n-1} * \sqrt{\sum (R_{m,i} - R_m)^2} = \underline{\underline{0,19021 \text{ MPa}}}$$

$$\mathbf{R_{C3} = R_m - t_n * S_r = 7,98 - 0,47 * 0,19021 = 7,89 \text{ MPa}}$$

**Tabulka č. 5.6 – Naměřené hodnoty pro cihlu C4**

| Číslo vrtu | Hloubka vrtu [mm] | Pevnost $R_{m,i}$ [MPa] |
|------------|-------------------|-------------------------|
| 1          | 17                | <b>8,2</b>              |
| 2          | 16                | <b>8,4</b>              |
| 3          | 16                | <b>8,4</b>              |
| 4          | 13                | <b>9,3</b>              |
| 5          | 15                | <b>8,7</b>              |
| 6          | 19                | <b>7,7</b>              |
| 7          | 15                | <b>8,7</b>              |
| 8          | 21                | <b>7,4</b>              |
| 9          | 18                | <b>7,9</b>              |

$$R_m = \frac{\sum^n R_{m,i}}{n} = \underline{\underline{8,3 \text{ MPa}}}$$

$$S_r = \frac{1}{n-1} * \sqrt{\sum (R_{m,i} - R_m)^2} = \underline{\underline{0,20463 \text{ MPa}}}$$

$$R_{C4} = R_m - t_n * S_r = 8,3 - 0,47 * 0,20463 = 8,2 \text{ MPa}$$

**Tabulka č. 5.7 – Naměřené hodnoty pro cihlu C5**

| Číslo vrtu | Hloubka vrtu [mm] | Pevnost $R_{m,i}$ [MPa] |
|------------|-------------------|-------------------------|
| 1          | 13                | <b>9,3</b>              |
| 2          | 17                | <b>8,2</b>              |
| 3          | 12                | <b>9,7</b>              |
| 4          | 10                | <b>10,7</b>             |
| 5          | 7                 | <b>12,7</b>             |
| 6          | 8                 | <b>11,9</b>             |
| 7          | 10                | <b>10,7</b>             |
| 8          | 7                 | <b>12,7</b>             |
| 9          | 11                | <b>10,2</b>             |

$$R_m = \frac{\sum^n R_{m,i}}{n} = \underline{\underline{10,68 \text{ MPa}}}$$

$$S_r = \frac{1}{n-1} * \sqrt{\sum (R_{m,i} - R_m)^2} = \underline{\underline{0,54336 \text{ MPa}}}$$

$$R_{C5} = R_m - t_n * S_r = 10,68 - 0,47 * 0,54336 = 10,43 \text{ MPa}$$

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Srovnání výsledných pevností:

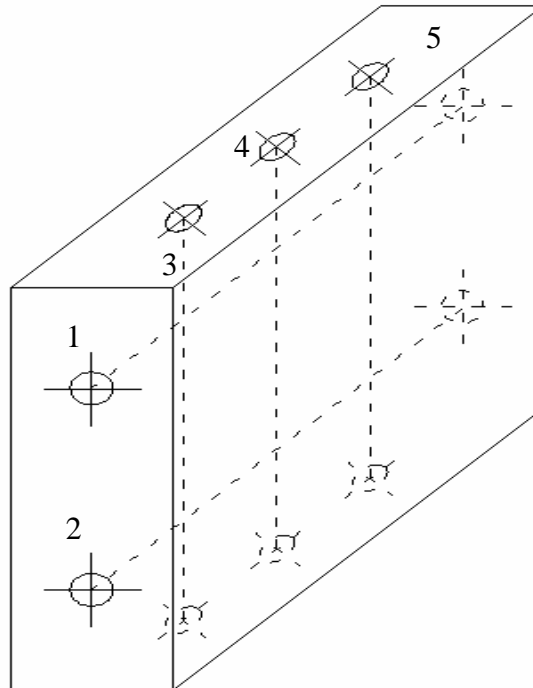
$$R_{C1} = 7,18 \text{ MPa} \quad R_{C3} = 7,27 \text{ MPa}$$

$$R_{D1} = 9,55 \text{ MPa} \quad R_{C4} = 7,50 \text{ MPa}$$

$$R_{C2} = 9,86 \text{ MPa} \quad R_{C5} = 7,95 \text{ MPa}$$

Zkouška Kučerovou vrtačkou prokázala u cihly D1 (nová cihla) pevnost, kterou jsme očekávali, tzn. kolem 10 MPa. Starší cihly měly (také podle očekávání) pevnost nižší. Výjimkou byla cihla C2, která nejspíš kvůli svému kvalitnímu výpalu vykazovala nejvyšší pevnost ze všech zkoušených vzorků.

## 5.2 Praktická část zkoušky ultrazvukovou impulzovou metodou



obr. č. 5.6 – Pozice bodů pro přiložení diod ultrazvuku

Pro tuto zkoušku byly vybrány cihly C3, C4, C5. Měřících pozic bylo zvoleno 5, umístění viz obrázek 5.5.

Tab. č. 5.8 – výsledné hodnoty zkoušky ultrazvukovou metodou pro cihlu C 3

| Číslo pozice | Čas - t | Rychlost - v |
|--------------|---------|--------------|
| 1            | 139,9   | 2290         |
| 2            | 143,4   | 2240         |
| 3            | 70,6    | 2240         |
| 4            | 71,1    | 2220         |
| 5            | 29,3    | 2280         |

**Tab. č. 5.9 – výsledné hodnoty zkoušky ultrazvukovou metodou pro cihlu C 4**

| Číslo<br>pozice | Čas - t | Rychlost - v |
|-----------------|---------|--------------|
| 1               | 129,1   | 2380         |
| 2               | 127,8   | 2400         |
| 3               | 64,9    | 2370         |
| 4               | 66,4    | 2320         |
| 5               | 66,7    | 2310         |

**Tab. č. 5.10 – výsledné hodnoty zkoušky ultrazvukovou metodou  
pro cihlu C5**

| Číslo<br>pozice | Čas - t | Rychlost - v |
|-----------------|---------|--------------|
| 1               | 124,2   | 2510         |
| 2               | 124,3   | 2510         |
| 3               | 65,5    | 2340         |
| 4               | 65,4    | 2340         |
| 5               | 65,0    | 2350         |

**Výpočet dynamického modulu pružnosti betonu v tlaku nebo v tahu**

$$\rho_{C3} = 1632 \text{ kg / m}^3 \quad E_{bu,C3} = 8291,4 \text{ MPa}$$

$$\rho_{C4} = 1504 \text{ kg / m}^3 \quad E_{bu,C4} = 8348,3 \text{ MPa}$$

$$\rho_{C5} = 2075 \text{ kg / m}^3 \quad E_{bu,C5} = 12051,8 \text{ MPa}$$

### **VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ**

Dynamické moduly jednotlivých vzorků vyšly následovně:  $E_{bu,C3} = 8291,4 \text{ MPa}$  ;

$E_{bu,C4} = 8348,3 \text{ MPa}$  ;  $E_{bu,C5} = 12051,8 \text{ MPa}$  .

### 5.3 Reprezentativní vzorky – výroba krychlí o délce strany 50x50x50 mm

Na provedení zkoušek pevnosti v tlaku a nasákavosti byly ze starých cihel (C1, C2) a cihel nových (D1, N1) vyříznuty tělesa o délce stran 50x50x50 mm. Šest krychliček od každé cihly (tzn. C1.1-C1.6, C2.1– C2.6, N1.1-N1.6 a D1.1-D1.6) bylo použito nejprve na zkoušku nasákavosti a poté i na zkoušku pevnosti v tlaku.

### 5.4 Praktická část zkoušky nasákavosti:



obr. č. 5.7 – Zkušební tělesa připravené na zkoušku nasákavosti

Z nařezaných krychliček cihel C1, C2, N1, D1 bylo odebráno šest krychliček od každé cihly pro zkoušku nasákavosti. Po této zkoušce byly všechny krychličky vysušeny a použity ještě na zkoušku pevnosti v tlaku.

**Tabulka č. 5.11 – Naměřené hodnoty nasákavosti pro cihly C1, C2, N1 a D1**

| Označení vzorku | m <sub>n</sub> [g] | m <sub>s</sub> [g] | Hmotnost [g] | Rozměry [mm]      | NV [%] |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------|-------------------|--------|
| C 1.1           | 227,0              | 183,9              | 210,9        | 49,03x47,48x49,69 | 23,437 |
| C 1.2           | 245,6              | 198,9              | 223,6        | 50,30x49,15x50,85 | 23,479 |
| C 1.3           | 239,2              | 195,5              | 217,9        | 49,64x49,65x48,80 | 22,353 |
| C 1.4           | 222,5              | 182,4              | 205,9        | 49,05x47,26x49,27 | 21,985 |
| C 1.5           | 252,0              | 205,4              | 227,8        | 49,84x49,79x49,88 | 22,687 |
| C 1.6           | 241,1              | 196,0              | 218,7        | 49,65x48,63x50,79 | 23,010 |
| N 1.1           | 238,1              | 195,0              | 214,7        | 48,79x49,68x49,93 | 22,103 |
| N 1.2           | 249,6              | 202,5              | 223,2        | 50,24x49,36x50,62 | 23,259 |
| N 1.3           | 237,8              | 194,8              | 211,1        | 49,17x49,01x49,38 | 22,074 |
| N 1.4           | 250,3              | 202,2              | 220,5        | 50,27x49,30x50,65 | 23,788 |
| N 1.5           | 237,4              | 194,2              | 209,6        | 49,61x49,37x49,01 | 22,245 |
| N 1.6           | 240,0              | 194,9              | 210,5        | 49,25x49,35x49,32 | 23,140 |
| C 2.1           | 239,2              | 195,8              | 196,6        | 50,39x48,69x48,92 | 22,165 |
| C 2.2           | 257,5              | 217,8              | 218,1        | 50,33x49,55x51,21 | 18,228 |
| C 2.3           | 251,5              | 209,1              | 209,5        | 50,26x49,55x49,42 | 20,277 |
| C 2.4           | 244,6              | 204,6              | 205,6        | 49,92x49,67x48,22 | 19,550 |
| C 2.5           | 257,7              | 218,4              | 219,3        | 50,36x48,96x51,82 | 17,995 |
| C 2.6           | 261,3              | 217,5              | 217,7        | 50,17x50,13x52,03 | 20,138 |
| D 1.1           | 260,6              | 212,2              | 211,5        | 51,55x50,01x51,75 | 22,809 |
| D 1.2           | 250,8              | 204,2              | 203,5        | 51,75x49,90x50,17 | 22,821 |
| D 1.3           | 254,1              | 208,5              | 208,0        | 50,28x51,03x50,53 | 21,871 |
| D 1.4           | 251,4              | 202,4              | 202,3        | 48,99x51,13x50,72 | 24,209 |
| D 1.5           | 262,3              | 212,3              | 212,7        | 51,62x50,64x50,99 | 23,552 |
| D 1.6           | 251,4              | 204,1              | 204,4        | 49,84x50,42x50,94 | 23,175 |

## VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Průměrné hodnoty nasákavosti jsou  $NV_{C1} = 22,825 \%$ ,  $NV_{C2} = 19,726 \%$ ,  $NV_{N1} = 22,768 \%$ ,  $NV_{D1} = 23,073 \%$ . Z výsledků je patrné, že se cihly, co se týče nasákavosti, od sebe navzájem nijak výrazně neodlišují. Pokud tedy máme srovnat staré cihly (C1 a C2) a nové (N1 a D1) jsou prakticky tak výsledky se prakticky shodují.

### 5.5 Praktická část zkoušky pevnosti v tlaku:

Tyto krychličky byly nejprve vystaveny vlivu zkoušky nasákavosti a poté vysušeny v sušárně. Poté byly odzkoušeny na pevnost v tlaku. Toto bylo provedeno z toho důvodu, aby se ověřilo, jaký vliv měla zkouška nasákavosti na pevnost vzorků, oproti výsledkům pevností na vzorcích nacházejících se ve stavu přirozené vlhkosti.

**Tabulka č. 5.12 – Výsledné hodnoty zkoušky pevnosti v tlaku pro cihly C1 a C2**

| Ozn. vzorku | Síla při porušení – F [kN] | Zatěžovací plocha – A [mm <sup>2</sup> ] | Rozměry [mm]      | Hmotnost [g] | Pevnost [MPa] |
|-------------|----------------------------|--|-------------------|--------------|---------------|
| C 1.1       | 28,48                      | 2327,94                                  | 49,03x47,48x49,69 | 210,9        | 12,23         |
| C 1.2       | 22,78                      | 2472,25                                  | 50,30x49,15x50,85 | 223,6        | 9,21          |
| C 1.3       | 35,51                      | 2464,63                                  | 49,64x49,65x48,80 | 217,9        | 14,41         |
| C 1.4       | 16,62                      | 2318,10                                  | 49,05x47,26x49,27 | 205,9        | 7,17          |
| C 1.5       | 40,07                      | 2481,53                                  | 49,84x49,79x49,88 | 227,8        | 16,15         |
| C 1.6       | 32,18                      | 2414,48                                  | 49,65x48,63x50,79 | 218,7        | 13,33         |
| C 2.1       | 68,68                      | 2453,49                                  | 50,39x48,69x48,92 | 196,6        | 27,99         |
| C 2.2       | 97,65                      | 2493,85                                  | 50,33x49,55x51,21 | 218,1        | 39,16         |
| C 2.3       | 87,73                      | 2490,38                                  | 50,26x49,55x49,42 | 209,5        | 35,23         |
| C 2.4       | 78,57                      | 2479,53                                  | 49,92x49,67x48,22 | 205,6        | 31,69         |
| C 2.5       | 47,06                      | 2465,63                                  | 50,36x48,96x51,82 | 219,3        | 19,09         |
| C 2.6       | 86,19                      | 2515,02                                  | 50,17x50,13x52,03 | 217,7        | 34,27         |



**Tab. č. 5.13 - Výsledné hodnoty zkoušky pevnosti v tlaku pro cihly D1 a N1**

| Ozn. vzorku | Síla při porušení – F [kN] | Zatěžovací plocha – A [mm <sup>2</sup> ] | Rozměry [mm]      | Hmotnost [g] | Pevnost [MPa] |
|-------------|----------------------------|--|-------------------|--------------|---------------|
| D 1.1       | 37,26                      | 2578,02                                  | 51,55x50,01x51,75 | 211,5        | 14,45         |
| D 1.2       | 48,86                      | 2537,05                                  | 51,75x49,90x50,17 | 203,5        | 19,3          |
| D 1.3       | 53,87                      | 2565,79                                  | 50,28x51,03x50,53 | 208,0        | 21,00         |
| D 1.4       | 55,15                      | 2504,86                                  | 48,99x51,13x50,72 | 202,3        | 22,02         |
| D 1.5       | 55,22                      | 2614,04                                  | 51,62x50,64x50,99 | 212,7        | 21,12         |
| D 1.6       | 56,19                      | 2512,93                                  | 49,84x50,42x50,94 | 204,4        | 22,36         |
| N 1.1       | 47,27                      | 2423,89                                  | 48,79x49,68x49,93 | 214,7        | 19,50         |
| N 1.2       | 49,34                      | 2479,85                                  | 50,24x49,36x50,62 | 223,2        | 19,90         |
| N 1.3       | 56,30                      | 2409,82                                  | 49,17x49,01x49,38 | 211,1        | 23,36         |
| N 1.4       | 41,12                      | 2478,31                                  | 50,27x49,30x50,65 | 220,5        | 16,59         |
| N 1.5       | 46,88                      | 2449,25                                  | 49,61x49,37x49,01 | 209,6        | 19,14         |
| N 1.6       | 49,31                      | 2473,57                                  | 49,25x49,35x49,32 | 210,5        | 19,90         |

### VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Porovnání pevností:

$$R_{C1} = 12,08 \text{ MPa}$$
$$R_{C2} = 31,24 \text{ MPa}$$
$$R_{N1} = 19,73 \text{ MPa}$$
$$R_{D1} = 20,04 \text{ MPa}$$

Z výsledků je patrné, že vzorky, kterým předcházela zkouška nasákavosti, vykazovaly ve většině nárůst pevnosti řádově kolem 1 až 2 MPa. Pouze u cihly C1 došlo ke snížení pevnosti o přibližně 1 MPa.

## 6. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo popsat základní poruchy a vady zděných konstrukcí. Diagnostika staveb je hodně závislá na zkušenostech a odbornosti pracovníků, kteří ji provádějí. V dnešní době, kdy je velké množství zdících stavebních materiálů je velmi obtížné obsáhnout všechny jejich možné vady a poruchy v jedné souhrnné práci.

Pro experimentální část jsme zvolili dříve hojně používaný zdící prvek (cihla pálená) a na několika kusech porovnali nejdůležitější materiálové charakteristiky cihly pálené ze starší stavby a cihel ze současné výroby. Z důvodu malého počtu vzorků z dřívější doby nebylo možno provést větší počet laboratorních zkoušek.

Výsledky experimentální části ukazují rozdíly mezi jednotlivými zkušebními metodami, což může být zapříčiněno malým počtem vzorků. Pevnost zjišťovaná nedestruktivně se pohybovala u starých cihel mezi 7-8 MPa (s výjimkou vzorku C2, který dosáhl pevnosti 9,86 MPa) zatím co u nových cihel se nedestruktivní pevnost pohybovala u hranice 9,5 MPa. Zkoušení destruktivní metodou byla zjištěná pevnost kolem 20 MPa u vzorků ze současné cihelné výroby. Vzorky C1 a C2 vykazují značné rozdíly. Vzorek C1 dosáhl destruktivní pevnosti 12,08 MPa a vzorku C2 narostla pevnost na 31,2 MPa. Nasákavost všech zkoušených vzorků se pohybovala v rozmezí mezi 19,7 a 23,1 %. Z těchto výsledků vyplývá, že nasákavost je u starých i nových cihel srovnatelná. U stanovení pevnosti cihel je třeba větší počet vzorků pro lepší možnosti vyhodnocování. Z tohoto důvodu je třeba při diagnostice staveb zděných konstrukcí zajistit co největší počet vzorků nebo posoudit větší počet zkušebních míst.

## Seznam použité literatury

- [1] Anton, O. a kolektiv: *Základy zkušebnictví*, Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002
- [2] Blaich, J.: *Poruchy stavieb*, Bratislava: Jaga Group, 2001
- [3] ČSN 72 2600: *Cihlářské výrobky – Společná ustanovení*, Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1988.
- [4] ČSN 72 2602: *Skúšanie tehliarskych výrobkov - Zisťovanie vzhľadu a rozmerov*, Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1978.
- [5] ČSN 72 2603: *Skúšanie tehliarskych výrobkov - Stanoveni hmotnosti, objemovém hmotnosti a nasiakavosti*, Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1978.
- [6] ČSN 73 0040: *Zatížení stavebních objektů technickou seizmicitou a jejich odezva*, Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [7] ČSN 73 1371: *Ultrazvuková impulzová metoda – skúšania betónu*, Praha: vydavatelství ÚNM, 1982
- [8] ČSN 73 2061-1: *Zatěžovací zkoušky zdiva – Část 1: Všeobecná ustanovení*, Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1992.
- [9] ČSN EN 1052-1: *Zkušební metody pro zdivo – Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku*, Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [10] ČSN EN 1052-3: *Zkušební metody pro zdivo – Část 3: Stanovení počáteční pevnosti ve smyku*, Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [11] ČSN EN 1996-2: *Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí – Část 2: Volba materiálů, konstruování a provádění zdiva*, Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [12] ČSN EN 772-1: *Zkušební metody pro zdící prvky – Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku*, Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [13] ČSN EN 772-18: *Zkušební metody pro zdící prvky – Část 18: Stanovení mrazuvzdornosti vápenopískových zdících prvků*, Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [14] Solař, J.: *Poruchy a rekonstrukce zděných staveb*, Praha: Nakladatelství Grada Publishing a.s., 2008.
- [15] Witzany, J.: *Poruchy a rekonstrukce zděných budov*, Praha: Technická knihovna autorizovaného inženýra a technika ČKAIT, 1999.

[16] Žídek, L., Hurta, H.: Diagnostika zděných konstrukcí

[http://www.fast.vsb.cz/shared/uploadedfiles/fast/7\\_diagnostika\\_zdenych\\_konstrukci.pdf](http://www.fast.vsb.cz/shared/uploadedfiles/fast/7_diagnostika_zdenych_konstrukci.pdf)

## Seznam tabulek

- Tab. č. 3.1 – Stupně poškození objektů [6]
- Tab. 4.1 – Rychlost zatěžování
- Tab. 4.2 – Součinitel tvaru  $\delta$  vyjadřující vliv rozměrů zkušebního vzorku změřených po úpravě povrchu vzorku [12]
- Tab. č. 5.1 – Fyzikální parametry cihel
- Tab. č. 5.2 – Naměřené hodnoty ze zkoušky Kučerovou vrtačkou pro cihlu C1
- Tab. č. 5.3 – Naměřené hodnoty ze zkoušky Kučerovou vrtačkou pro cihlu D1
- Tab. č. 5.4 – Naměřené hodnoty pro cihlu C2
- Tab. č. 5.5 – Naměřené hodnoty pro cihlu C3
- Tab. č. 5.6 – Naměřené hodnoty pro cihlu C4
- Tab. č. 5.7 – Naměřené hodnoty pro cihlu C5
- Tab. č. 5.8 – Výsledné hodnoty zkoušky ultrazvukovou metodou pro cihlu C 3
- Tab. č. 5.9 – Výsledné hodnoty zkoušky ultrazvukovou metodou pro cihlu C 4
- Tab. č. 5.10 – Výsledné hodnoty zkoušky ultrazvukovou metodou pro cihlu C5
- Tab. č. 5.11 – Naměřené hodnoty nasákavosti pro cihly C1, C2, N1 a D1
- Tab. č. 5.12 – Výsledné hodnoty zkoušky pevnosti v tlaku pro cihly C1 a C2
- Tab. č. 5.13 - Výsledné hodnoty zkoušky pevnosti v tlaku pro cihly D1 a N1

## Seznam obrázků

- obr. č. 3.1 – Trhliny způsobené dynamickým zatížením
- obr. č. 3.2 - Síťové trhliny s rozvětvením ve tvaru Y (tzv. trhliny způsobené smršťováním) – porušení způsobené chybami v omítce [2]
- obr. č. 3.3 – Schéma sádrové destičky
- obr. č. 4.1 - Způsob odběru jádrového vývrtu ze zděné konstrukce [16]
- obr. č. 4.2 - Schéma odběru jádrového vývrtu ze zděné konstrukce
- obr. č. 4.3 - Digitální ultrazvukový přístroj
- obr. č. 5.1 - Měření rozměrů cihly
- obr. č. 5.2 – Vybrané cihly pro experimentální část
- obr. č. 5.3 – Provádění vývrtů do cihly Kučerovou vrtačkou PZZ 01
- obr. č. 5.4 – Měření hloubky vrtu posuvným měřidlem
- obr. č. 5.5 – Vyvrtané díry Kučerovou vrtačkou PZZ 01
- obr. č. 5.6 – Pozice bodů pro přiložení diod ultrazvuku
- obr. č. 5.7 – Zkušební tělesa připravené na zkoušku nasákavosti

## **Seznam příloh**

PŘÍLOHA I - Kalibrační vztah pro vrtačku typu PZZ 01 – pro malty (stupeň č. 1)

PŘÍLOHA II - Kalibrační vztah pro vrtačku typu PZZ 01 – pro cihly (stupeň č. 2)

## PŘÍLOHA I

### Kalibrační vztah pro vrtačku typu PZZ 01 – pro malty (stupeň č. 1)

| Hloubka<br>vrtu<br>[mm] | Pevnost<br>v tlaku<br>[MPa] | Hloubka<br>vrtu<br>[mm] | Pevnost<br>v tlaku<br>[MPa] | Hloubka<br>vrtu<br>[mm] | Pevnost<br>v tlaku<br>[MPa] | Hloubka<br>vrtu<br>[mm] | Pevnost<br>v tlaku<br>[MPa] |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 18                      | 5,2                         | 28                      | 2,8                         | 38                      | 1,8                         | 48                      | 1,3                         |
| 19                      | 4,9                         | 29                      | 2,7                         | 39                      | 1,8                         | 49                      | 1,3                         |
| 20                      | 4,5                         | 30                      | 2,6                         | 40                      | 1,7                         | 50                      | 1,3                         |
| 21                      | 4,2                         | 31                      | 2,5                         | 41                      | 1,7                         | 51                      | 1,2                         |
| 22                      | 4,0                         | 32                      | 2,4                         | 42                      | 1,6                         | 57                      | 1,2                         |
| 23                      | 3,7                         | 33                      | 2,3                         | 43                      | 1,6                         | 53                      | 1,2                         |
| 24                      | 3,5                         | 34                      | 2,2                         | 44                      | 1,5                         | 54                      | 1,1                         |
| 25                      | 3,3                         | 35                      | 2,1                         | 45                      | 1,5                         | 55                      | 1,1                         |
| 26                      | 3,1                         | 36                      | 2,0                         | 46                      | 1,4                         | 56                      | 1,1                         |
| 27                      | 3,0                         | 37                      | 1,9                         | 47                      | 1,4                         | 57                      | 1,0                         |



## PŘÍLOHA II

### Kalibrační vztah pro vrtačku typu PZZ 01 – pro cihly (stupeň č. 2)

| Hloubka<br>vrtu<br>[mm] | Pevnost<br>v tlaku<br>[MPa] | Hloubka<br>vrtu<br>[mm] | Pevnost<br>v tlaku<br>[MPa] | Hloubka<br>vrtu<br>[mm] | Pevnost<br>v tlaku<br>[MPa] |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| 2                       | 23,8                        | 12                      | 9,7                         | 22                      | 7,2                         |
| 3                       | 19,5                        | 13                      | 9,3                         | 23                      | 7,0                         |
| 4                       | 16,9                        | 14                      | 9,0                         | 24                      | 6,9                         |
| 5                       | 15,1                        | 15                      | 8,7                         | 25                      | 6,7                         |
| 6                       | 13,8                        | 16                      | 8,4                         | 26                      | 6,6                         |
| 7                       | 12,7                        | 17                      | 8,2                         | 27                      | 6,5                         |
| 8                       | 11,9                        | 18                      | 7,9                         | 28                      | 6,4                         |
| 9                       | 11,2                        | 19                      | 7,7                         | 29                      | 6,3                         |
| 10                      | 10,7                        | 20                      | 7,5                         | 30                      | 6,2                         |
| 11                      | 10,2                        | 21                      | 7,4                         |                         |                             |