

# **Studium mechanické odolnosti stavebních prvků proti násilnému vniknutí**

Filip Vrána

---

Bakalářská práce  
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav bezpečnostního inženýrství

Akademický rok: 2024/2025

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Filip Vrána  
Osobní číslo: A22260  
Studijní program: B1032A020001 Bezpečnostní technologie, systémy a management  
Forma studia: Prezenční  
Téma práce: Studium mechanické odolnosti stavebních prvků proti násilnému vniknutí.  
Téma práce anglicky: Study of the Mechanical Resistance of Building Elements Against Forced Entry.

### Zásady pro vypracování

- Vypracujte literární rešerši z oblasti bezpečnosti budov se zaměřením na stavební materiály.
- Vyberte vhodné stavební prvky.
- Navrhňte vhodný postup mechanického testování vybraných stavebních prvků a připravte zkušební vzorky.
- Otestujte zkušební vzorky.
- Statisticky vyhodnoťte naměřená data.
- Diskutujte získané výsledky.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

1. KUBANOVÁ, J. 2004 Statistické metody pro ekonomickou a technickou praxi. Bratislava: STATIS. ISBN 80-85659-37-9.
2. PLÍHAL, B. 2012. Balistická ochrana. Brno: Univerzita obrany. ISBN 978-80-7231-862-9.
3. MESSIRY, M. 2020. Protective armor engineering design. Palm Bay, Florida: Apple Academic Press. ISBN 9781771887878.
4. HIBELLER, R.C. 2023. Mechanics of Materials. PEARSON Education Limited. ISBN 9781292725734
5. SAXENA, A. 2019. Advanced Fracture Mechanics and Structural Integrity. University of Arkansas, Fayetteville, USA: CRC Press. ISBN 9781138544260.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Michaela Karháňková**  
Ústav bezpečnostního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **11. prosince 2024**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2025**

**doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.**  
děkan



**Ing. Jan Valouch, Ph.D. v.r.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 11. prosince 2024

---

# PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

## Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne .....

.....

podpis autora



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá studiem mechanické odolnosti vybraných stavebních prvků vůči násilnému vniknutí. Cílem práce bylo zjištění mechanické odolnosti a chování stavebních prvků vůči mechanickému působení. Vyhodnocení probíhalo na základě série mechanických zkoušek, díky kterým bylo možné statisticky data vyhodnotit. Na základě získaných výsledků bylo možné identifikovat prvky s nejnižší a nejvyšší odolností, čímž bylo možné poskytnout doporučení pro výběr vhodného materiálu z hlediska pasivní ochrany budovy.

Klíčová slova: stavební prvky, mechanická odolnost, bezpečnost, násilné vniknutí, cihla, pórobeton

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis focuses on the study of the mechanical resistance of selected building elements against forced entry. The aim of the thesis was to determine the mechanical resistance and behaviour of construction elements under mechanical stress. The evaluation was carried out based on a series of mechanical tests, which allowed for statistical analysis of the data. Based on the obtained results, it was possible to identify elements with the lowest and highest resistance, making it possible to provide recommendations for the selection of suitable materials in terms of passive building protection.

Keywords: building elements, mechanical resistance, security, forced entry, brick, aerated concrete

Rád bych tímto poděkoval své vedoucí bakalářské práce Ing. Michaele Karhánkové za odborné vedení, cenné rady, vstřícný přístup a ochotu při konzultacích v průběhu celého zpracování této závěrečné práce.

# OBSAH

|                                                       |           |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ÚVOD.....</b>                                      | <b>11</b> |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST .....</b>                        | <b>12</b> |
| <b>1 BEZPEČNOST .....</b>                             | <b>13</b> |
| 1.1 HISTORIE BEZPEČNOSTI .....                        | 13        |
| 1.2 DEFINICE BEZPEČNOSTI .....                        | 14        |
| 1.3 ZABEZPEČENÍ BUDOV .....                           | 16        |
| 1.4 CHRÁNĚNÁ AKTIVA .....                             | 17        |
| 1.5 OBJEKTOVÁ BEZPEČNOST .....                        | 20        |
| 1.6 PLÁŠŤOVÁ OCHRANA .....                            | 22        |
| 1.6.1 Stavební prvky .....                            | 22        |
| 1.6.2 Dveře .....                                     | 22        |
| 1.6.3 Okna .....                                      | 24        |
| 1.6.4 Zadlabací dveřní zámky .....                    | 27        |
| <b>2 STAVEBNÍ PRVKY .....</b>                         | <b>30</b> |
| 2.1 VÝVOJ STAVEBNÍCH PRVKŮ V HISTORII .....           | 30        |
| 2.2 NORMY PRO STAVEBNÍ PRVKY .....                    | 32        |
| 2.3 SOUČASNÉ PRVKY .....                              | 33        |
| 2.3.1 Stavební kámen .....                            | 33        |
| 2.3.2 Dřevo .....                                     | 34        |
| 2.3.3 Beton .....                                     | 35        |
| 2.3.4 Pálené zdící prvky .....                        | 37        |
| 2.3.5 Vápenopískové zdící prvky .....                 | 38        |
| 2.3.6 Autoklávovaný pórobeton .....                   | 39        |
| 2.4 TESTOVÁNÍ STAVEBNÍCH PRVKŮ .....                  | 40        |
| 2.5 SOUČASNÝ STAV PROBLEMATIKY .....                  | 41        |
| <b>II PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>                         | <b>43</b> |
| <b>3 STATICKE MECHANICKÉ ZKOUŠKY .....</b>            | <b>44</b> |
| 3.1 ZKOUŠKA PEVNOSTI V TLAKU .....                    | 44        |
| 3.2 ZKOUŠKA PEVNOSTI V OHYBU .....                    | 45        |
| <b>4 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE .....</b>                   | <b>47</b> |
| <b>5 TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ LABTEST 6.50 .....</b>        | <b>48</b> |
| 5.1 TECHNICKÉ PARAMETRY ZAŘÍZENÍ.....                 | 48        |
| 5.2 NASTAVENÍ PŘÍSTROJE PRO MĚŘENÍ .....              | 49        |
| <b>6 PŘÍPRAVA TESTOVANÝCH VZORKŮ.....</b>             | <b>50</b> |
| 6.1 VÝBĚR VHODNÉ VELIKOSTI TESTOVANÝCH PRVKŮ .....    | 50        |
| 6.2 POUŽITÉ NÁSTROJE PRO ÚPRAVU VELIKOSTÍ PRVKŮ ..... | 52        |

|          |                                                                 |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>7</b> | <b>STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK .....</b>           | <b>54</b> |
| 7.1      | TLAKOVÁ ZKOUŠKA PRO NOVOU PÁLENOU CIHLU .....                   | 54        |
| 7.2      | TLAKOVÁ ZKOUŠKA PRO PÓROBETONOVOU TVÁRNICI (YTONG) .....        | 55        |
| 7.3      | POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ TLAKOVÉ ZKOUŠKY .....                        | 57        |
| 7.4      | OHYBOVÁ ZKOUŠKA PRO STAROU PÁLENOU CIHLU .....                  | 59        |
| 7.5      | OHYBOVÁ ZKOUŠKA PRO NOVOU PÁLENOU CIHLU .....                   | 60        |
| 7.6      | OHYBOVÁ ZKOUŠKA PRO PÓROBETONOVOU TVÁRNICI (YTONG).....         | 62        |
| 7.7      | POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ OHYBOVÉ ZKOUŠKY .....                        | 63        |
| 7.8      | ZKOUŠKA ÚDERU KLADIVEM .....                                    | 64        |
| 7.9      | ZKOUŠKA ÚDERU KLADIVEM PRO STAROU PÁLENOU CIHLU .....           | 66        |
| 7.10     | ZKOUŠKA ÚDERU KLADIVEM PRO NOVOU PÁLENOU CIHLU .....            | 67        |
| 7.11     | ZKOUŠKA ÚDERU KLADIVEM PRO PÁLENOU KERAMICKOU CIHLU .....       | 68        |
| 7.12     | ZKOUŠKA ÚDERU KLADIVEM PRO PÓROBETONOVOU TVÁRNICI (YTONG) ..... | 70        |
| 7.13     | POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠKY ÚDERU KLADIVEM .....                 | 71        |
| <b>8</b> | <b>DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ.....</b>                          | <b>73</b> |
|          | <b>ZÁVĚR.....</b>                                               | <b>75</b> |
|          | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>                          | <b>77</b> |
|          | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                                     | <b>80</b> |
|          | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                                      | <b>81</b> |
|          | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>                 | <b>82</b> |

## ÚVOD

Bezpečnost obytných i komerčních prostor je v současné době stále častěji diskutovaným tématem. Tyto diskuse probíhají nejen v kontextu ochrany majetku, ale také v kontextu spojeném s ochranou zdraví a života osob. V České republice je oblast fyzické a pasivní bezpečnosti budov sice legislativně do jisté míry ošetřena, v praxi ale bývá častokrát podceňována. V médiích se lze pravidelně setkat s případy násilného vniknutí do budovy nebo vandalismem. Právě mechanická odolnost stavebních prvků hraje klíčovou roli při ochraně objektu před neoprávněným vstupem a následnou finanční újmou.

Obvodové zdivo je tedy jedním z hlavních prvků zabezpečení budovy. Mechanická odolnost těchto stavebních prvků představuje jakýsi základní parametr, který dokáže zásadně ovlivnit míru zabezpečení. Přestože se v současném světě stále častěji řeší sofistikované elektronické zabezpečovací systémy, tak samotná odolnost a pevnost stavebních materiálů bývá opomíjena, ať už ve fázi návrhu, tak i ve fázi výstavby.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na komplexní zhodnocení vybraných stavebních prvků právě na základě jejich mechanické odolnosti. Řešené téma je aktuální zejména s ohledem na narůstající bezpečnostní požadavky, přičemž výsledky této práce mohou sloužit jako podklad pro návrh bezpečnějších konstrukcí. V teoretické části je zpracována literární rešerše v oblasti bezpečnosti a samotných stavebních materiálů, které jsou v současné době nejčastěji využívány. Praktická část se poté zabývá provedením série mechanických zkoušek u vybraných stavebních prvků. Konkrétně se jednotlivé testované prvky testovaly tlakovou zkouškou, ohybovou zkouškou a zkouškou úderu za pomoci palice. Testovány byly čtyři zástupci běžně využívaných materiálů (stará pálená cihla, nová pálená cihla, pórobeton, keramická cihla). Získané výsledky byly následně statisticky vyhodnoceny a porovnány. Díky tomuto bylo možné stanovit doporučení, které se opírají o získané výsledky.

Cílem práce je nejen samotný test stavebních prvků, ale především poukázání na význam mechanické odolnosti jakožto základní vlastnosti bezpečnosti budovy. Motivací pro výběr tohoto tématu byla snaha propojit oblast stavebnictví s bezpečnostní problematikou, a zároveň přinést prakticky využitelné poznatky, které mohou sloužit jako podklad pro výběr vhodného stavebního materiálu, ať už pro projektanty, tak i pro architekty a stavební firmy.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 BEZPEČNOST

## 1.1 Historie bezpečnosti

Studování historie bezpečnosti je velmi důležitým faktorem v současné době vývoje nových zabezpečení a norem. Je velmi důležité sledovat, jak se celý trend, zejména v oblasti ochrany budov a majetku, vyvíjel. Dále může být studování historie velmi důležité pro ponaučení se z minulosti a následné vylepšení použitých bezpečnostních opatření a prvků.

Lidé si odpradávná chránili svůj nashromážděný majetek. S postupem času, kdy se majetek přestal vnímat pouze jako nezbytný zdroj přežití, ale začala se vnímat jeho hodnota ve společnosti. S tím uvědoměním přišla následná větší ochrana majetku, která se postupem času neustále zlepšovala. Je tedy naprosto logické, že se zprvu v pravěku bezpečnost zajišťovala pomocí, v současné době, primitivních opatření. Jídlo a majetek se chránili pomocí schovávání, zakopávání. Lidé používali pro svou obranu a bezpečnost primitivní zbraně, které se postupem času vyvíjely. Největším nepřítelem člověka se v pravěku považovala divoká zvěř. Proti tomuto nepříteli fungoval velmi efektivně oheň, kterého se zvířata bála. Příbytky využívali lidé zejména k přenocování, a proto byly často velmi primitivní a nezajišťovaly žádnou bezpečnost pro obyvatele. Nejčastěji se tedy jednalo o skalní převisy, jeskyně či zemní jámy. [1], [2]

S rostoucím významem majetku a bezpečnosti lidí se ve starověku a středověku začaly vylepšovat jak samotné příbytky, tak ale i jejich doplnění o bezpečnostní prvky. Konstrukce domů se postupem času stávaly mnohem bytelnějšími díky použitým materiálům (kámen, cihla) ale i díky způsobu stavby. Dále se začaly využívat dveře, primitivní zámky (petlice) a mříže. Velkou inovací bylo seskupování domů a tím vzniklá města, která se začala nově doplňovat o hradby, příkopy a věže. Díky těmto opatřením bylo obyvatelům měst zajištěna velká míra bezpečí a ochrany před útoky protivníků. [1], [2]

V období renesance a první průmyslové revoluce došlo k zásadním změnám z hlediska bezpečnosti měst. Začalo se totiž upouštět od opevnění měst. Toto mělo zásadní dopad na bezpečnost obyvatel ve městech, protože byly rázem mnohem zranitelnější a jejich majetek nebyl dostatečně chráněn. Toto bylo z části vyřešeno individuálními opatřeními obyvatel, kteří začali využívat první sofistikované zámky, kované mříže či masivnější dveře. Tyto opatření dokázaly z části kompenzovat absenci ochrany města. Postupem času se také začaly využívat mnohem pevnější a kvalitnější materiály, které dokázaly taktéž zvýšit individuálně bezpečnost daného objektu. S první průmyslovou revolucí přišel počátek masivního využití

litin a oceli, které se začaly používat jak v samotných konstrukcích domu, tak ale i v ochranných prvcích, jako byly zámky, mříže a kování. [1], [2]

V současné době je největší pokrok ve standardizaci. Vše se řídí pomocí norem jak pro samotné stavební prvky, tak ale i pro stavební postupy. Toto opatření zajišťuje vysokou míru bezpečnosti lidí, ale i ochranu jejich majetku. Toto je zapříčiněno díky systematickému testování prvků jak z hlediska odolnosti, tak ale i bezpečnosti. Dále je díky druhé průmyslové revoluci, se využívá železobeton, který je branný jakožto klíčový materiál pro bezpečnostní konstrukce budov. V současné době ho ovšem začínají postupně nahrazovat kompozitní materiály a pokročilé plasty, které vynikají zejména svou nízkou hmotností a vysokou odolností. Dalším, velmi využívaným prvkem, je zavedení elektronických poplachových systému a kamerových systémů, které dokážou bezpečnost několikanásobně zvýšit. [1], [2]

## 1.2 Definice bezpečnosti

Definice bezpečnosti je v současné době problémová. Každý odborník a bezpečnostní úřad po celém světě vnímá pojem bezpečnost lehce odlišně. Ve výsledku se ale všichni shodují. Podle ministerstva vnitra je bezpečnost definována takto: „*Bezpečnost je stav, kdy jsou na efektivní míru omezeny hrozby pro objekt a jeho zájmy a tento objekt je k omezení stávajících i potenciálních hrozeb efektivně vybaven a ochoten při něm spolupracovat.*“ [3]

„*Zajištěním bezpečnosti se – v souvislosti s tím, co bylo uvedeno – zároveň chápe soubor opatření, metod jednání a forem konání směřujících k zajištění vnitřní, vnější a mezinárodní bezpečnosti (ať už jedince, státu či mezinárodního společenství v běžném stavu a za krizových situací). Přitom je třeba zmínit určitou „nedostatečnost“ češtiny, například oproti angličtině, která obsahuje dva výrazy: security (ve smyslu aktivního bezpečnosti či zabezpečení formou činností osob, systémů apod. – viz např. Security Guard = bezpečnostní stráž), safety (ve smyslu pasivní bezpečnosti užívané zejména k vlastnosti předmětů, charakteristice stavu apod. – viz např. Safety Belt = bezpečnostní pás, Safety Matches = bezpečnostní zápalky). Oba pojmy se s rozlišením smyslu užívají v řadě jazyků světa v oblasti krizového řízení, v technické oblasti nebo pojišťovnictví.*“ [3]

### Vnitřní bezpečnost

„*V širším významu znamená zachování zajištění vnitřních funkcí státu, ochranu jeho demokratických základů, ochranu vnitřního pořádku, bezpečnosti a zákonnosti, ochranu*

*životů a zdraví, majetkových hodnot a životního prostředí před hrozbami majícími původ na území státu. Je to rovněž souhrn vnitřních bezpečnostních podmínek a legislativních norem a opatření, kterými stát zajišťuje demokracii, ekonomickou prosperitu a bezpečnost občanů, a jimiž stanoví a prosazuje normy morálky a společenského vědomí. Vnitřní bezpečností státu se rozumí stav, kdy jsou na nejnižší možnou míru eliminovány hrozby ohrožující stát a jeho zájmy zevnitř a kdy je tento stát k eliminaci stávajících i potenciálních vnitřních hrozeb efektivně vybaven a k ní ochoten.“ [3]*

### **Vnější bezpečnost**

*„Představuje zajištění územní celistvosti, vnější svrchovanosti a nezávislosti státu, nedotknutelnosti jeho státních hranic a ochrana jeho zastupitelských úřadů, členů diplomatického sboru a dalších občanů, zejména v případě hrozby mimořádné události v zahraničí nebo po jejím vzniku. Jedná se také o souhrn mezinárodněpolitických, ekonomických a vojenských vztahů státu s okolními státy a koalicemi, jejichž prostřednictvím prosazuje své státní zájmy. Vnější bezpečností státu se rozumí stav, kdy jsou na nejnižší možnou míru eliminovány hrozby ohrožující stát a jeho zájmy zvnějšku a kdy je tento stát k eliminaci existujících i potenciálních vnějších hrozeb efektivně vybaven a ochoten. Hrozby mohou být vojenské nebo ekonomické povahy, či mohou mít charakter migrační vlny apod.“ [3]*

### **Hrozba**

*„Jakýkoli fenomén, který má potenciální schopnost poškodit zájmy a hodnoty chráněné státem. Míra hrozby je dána velikostí možné škody a časovou vzdáleností (vyjádřenou obvykle pravděpodobností čili rizikem) možného uplatnění této hrozby.“ [4]*

### **Riziko**

*„Možnost, že s určitou pravděpodobností vznikne událost, kterou považujeme z bezpečnostního hlediska za nežádoucí. Riziko je vždy odvoditelné a odvozené z konkrétní hrozby. Míru rizika, tedy pravděpodobnost škodlivých následků vyplývajících z hrozby a ze zranitelnosti zájmu, je možno posoudit na základě tzv. analýzy rizik, která vychází i z posouzení naší připravenosti hrozbám čelit.“ [5]*

### **Analýza rizik**

Analýza rizik identifikuje zranitelná místa, definuje možné působící hrozby a stanovuje rizika příslušná ke konkrétním místům a hrozbám. Jejím cílem je především snížit

úroveň rizika na přijatelnou úroveň za pomoci zavedení opatření, která mají za cíl právě toto riziko hrozby snižovat. [6]

### 1.3 Zabezpečení budov

Zabezpečení budov se týká ochrany majetku a obyvatel před nebezpečnými událostmi, jako jsou například vetřelec, pachatel s úmyslem páchat násilí, vloupání, vandalismus, které mohou obyvatelům způsobit újmu či škodu na majetku. Cílem zabezpečení budov je především odrazovat pachatele, předcházet nebezpečným situacím, odhalovat a reagovat na narušení fyzické bezpečnosti. Toto zabezpečení je velmi důležité, protože dává společnosti možnost ochrany svého majetku a obyvatel před bezpečnostními hrozbami. [7]

#### Oblasti

- Pasivní bezpečnostní opatření
  - Konstrukční odolnost (odolnost stavebních prvků)
  - Architektonické prvky (umístění vstupů, minimalizace slabých míst)
  - Mechanické zábranné systémy (dveře, okna, mříže, zámky, zdivo)
- Aktivní bezpečnostní opatření
  - Poplachové zabezpečovací a tísňové systémy (PZTS)
  - Kontrola přístupu (biometrie, čipy, karty, vrátnice)
- Organizační bezpečnost
  - Protokoly a postupy (evakuační plán)
  - Personál (bezpečnost pracovníků, řízení chodu budovy)

#### Význam

*„Bezpečnost budov hraje klíčovou roli při ochraně lidí, majetku a citlivých informací před vnějšími hrozbami, jako jsou krádeže, vandalismus nebo násilné vniknutí. Jejím cílem je minimalizovat riziko narušení a zajistit prostředí, které poskytuje nejen fyzickou ochranu, ale také psychologický pocit bezpečí. Dobře navržená bezpečnost budovy přispívá k prevenci škod, snižuje ekonomické ztráty a posiluje důvěru v ochranu objektu, což je klíčové zejména u veřejných budov, firemních sídel či obytných domů. Kombinace pasivních a aktivních opatření zajišťuje komplexní přístup k bezpečnosti, který dokáže reagovat na současné i budoucí hrozby.“ [8]*

## 1.4 Chráněná aktiva

Aktivum lze chápat ve zkratce jako cokoliv, co má pro danou firmu či osobu hodnotu. Dále lze aktivum pro firmu chápat i následovně: „*Aktivum je zdroj s ekonomickou hodnotou, který jednotlivec, korporace nebo země vlastní nebo ovládá s očekáváním, že poskytne budoucí užitek.*“ [10] V základu se aktiva dělí do tří kategorií, a to fyzická aktiva, finanční aktiva a nehmotná aktiva.

Mezi finanční aktiva spadají například akcie, dluhopisy a finance. Do fyzických aktiv se řadí například nemovitosti, stroje, přístroje. Do poslední kategorie nehmotných patentů se řadí nejčastěji patenty, ochranné známky, postupy výroby atd. Je samozřejmostí, že každé aktivum má pro různé firmy a obyvatele různé hodnoty. Je ovšem velmi důležité zajistit, aby všechna aktiva byla dostatečně zajištěna proti odcizení, zneužití či zničení. Proto je zabezpečení budovy chápáno jako hlavní a nejužitečnější nástroj, jak zabránit nevhodnému naložení s aktivy. [10]

Tabulka 1 Možná chráněná aktiva firmy

|                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|
| <b>Zaměstnanci</b>          | Pracovníci                       |
|                             | Vedení firmy                     |
|                             | Externisti                       |
| <b>Finanční prostředky</b>  | Hotovost                         |
|                             | Bankovní účty                    |
|                             | Investice                        |
| <b>Produkty a služby</b>    | Hotové výrobky                   |
|                             | Polotovary                       |
|                             | Služby poskytované<br>zákazníkům |
| <b>Dokumentace</b>          | Smlouvy                          |
|                             | Faktury                          |
|                             | Právní dokumenty                 |
|                             | Záznamy                          |
| <b>Informační systémy</b>   | Servery                          |
|                             | Datová centra                    |
|                             | Počítače                         |
|                             | Cloudové systémy                 |
|                             | Zálohovací disky                 |
| <b>Výrobní technologie</b>  | Stroje                           |
|                             | Zařízení                         |
|                             | Nástroje                         |
| <b>Firemní vozidla</b>      | Automobily                       |
|                             | Kamiony                          |
|                             | Traktory                         |
| <b>Nemovitosti</b>          | Kancelářské budovy               |
|                             | Sklady                           |
|                             | Garáže                           |
|                             | Výrobní haly                     |
| <b>Kancelářské vybavení</b> | Nábytek                          |
|                             | Tiskárny                         |
|                             | Kopírky                          |
|                             | Projektory                       |
| <b>Umělecké předměty</b>    | Obrazy                           |
|                             | Sochy                            |
|                             | Ocenění                          |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Tabulka 2 Možná chráněná aktiva domácnosti

|                           |                           |
|---------------------------|---------------------------|
| <b>Osoby</b>              | Členové domácnosti        |
|                           | Návštěvníci               |
|                           | Zaměstnanci               |
| <b>Domácí mazlíčci</b>    | Psi                       |
|                           | Kočky                     |
|                           | Ptactvo                   |
| <b>Informace</b>          | Přístupová hesla          |
|                           | Citlivé údaje             |
| <b>Dokumenty</b>          | Osobní doklady            |
|                           | Smlouvy                   |
|                           | Zdravotní záznamy         |
| <b>Cennosti</b>           | Šperky                    |
|                           | Hotovost                  |
|                           | Cenné kovy                |
| <b>Umělecká díla</b>      | Obrazy                    |
|                           | Sochy                     |
|                           | Starožitnosti             |
| <b>Elektronika</b>        | Počítač                   |
|                           | Mobilní telefon           |
|                           | Televize                  |
| <b>Domácí spotřebiče</b>  | Pračka                    |
|                           | Lednice                   |
|                           | Myčky                     |
| <b>Sportovní vybavení</b> | Lyže                      |
|                           | Kola                      |
|                           | Brusle                    |
|                           | Běžky                     |
| <b>Nábytek</b>            | Vybavení obývacího pokoje |
|                           | Vybavení ložnice          |
|                           | Vybavení kuchyně          |
|                           | Vybavení koupelny         |
| <b>Vozidla</b>            | Automobily                |
|                           | Motocykly                 |
|                           | Jízdní kola               |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

## 1.5 Objektová bezpečnost

### Definice

Jedná se o proces, kterým se zajišťuje technické a personální zajištění ostrahy objektu tak, aby jakékoliv narušení, napadení nebo zcizení utajované informace bylo eliminováno na naprosté minimum. Cílem objektové bezpečnosti je především návrh takového systému, který zajistí co nejvyšší bezpečnost objektu. Důležité je ovšem také to, aby bylo předem známo, co je chráněno a jaký má systém cíl. [11]

Způsobů, kterými lze před narušením zabránit, je mnoho. V základu se dělí do čtyř základních kategorií.

### Mechanické zábranné systémy

Mechanické zábranné systémy se řadí mezi jedny z nejstarších a zároveň v současnosti k nejrozšířenějším druhům ochrany majetku a osob. Jedná se zejména o prostředky, které mají za cíl především odradit a ztížit přístup narušitele. Těmito opatřeními lze v mnoha případech narušením zcela předejít a značně snížit riziko narušení objektu. Nejvhodnější je ovšem použít mechanické zábranné systémy společně v kombinaci s dalšími prvky ochrany, čímž lze docílit velmi kvalitního zabezpečení objektu. Do těchto systémů se řadí v současné době nejrozšířenější prvky, jakož jsou dveře, okna, zámky, ploty, zdivo atd. [9], [11], [13]

### Režimová ochrana

Režimovou ochranou lze chápat soubor organizačních a administrativních opatření a postupů, které mají za cíl zabezpečení správných funkcí ochranných systémů, popřípadě jejich sjednocení s provozem chráněného objektu. Jedná se tedy především o zavádění a dodržování směrnic, norem a postupů, které jsou zaměstnanci a lidé uvnitř objektu povinni dodržovat. Režimová ochrana se dělí na vnitřní a vnější režimová opatření. V jednoduchosti lze tedy chápat, že vnitřní režimová opatření platí uvnitř daného objektu, zejména pro osoby, které se zde pohybují, pracují či vykonávají jinou činnost. Toto může znamenat restriktce v pohybu osob, monitoring pohybu, omezené časové intervaly pro pohyb v určitých částech objektu atd. Jako vnější režimová opatření lze chápat vstupní a výstupní podmínky, které jsou potřebné pro překonání hranice objektu. V tomto případě se může jednat o kontrolu vozidel, docházkový systém či kontrolu osob. [9], [11]

## Fyzická ostraha objektu

Fyzická ostraha patří také mezi jedny z nejstarších způsobů, jak je docíleno ochrany objektu. Jedná se o použití lidské síly, která je vykonávána za cílem zajištění bezpečnosti v objektu, kontroly vstupu a výstupu a případné řešení nastalých krizových situací. Fyzická ostraha disponuje jednoznačnou výhodou z hlediska reakce na nastalé hrozby. Je totiž jediná, která dokáže okamžitě zakročit vůči pachateli, a tak jej například zneškodnit, zadržet či odradit od páchaného činu. Značnou nevýhodou ovšem je fakt, že tato ochrana patří mezi jedny z nejdražších, protože je majitel objektu povinen vyplácet každý měsíc určitou finanční částku (mzdu), která zpravidla nebývá malá. [9], [11]

Tato forma ochrany bývá nejčastěji vykonávána příslušníky soukromých bezpečnostních služeb, policií, strážníky či příslušníky ozbrojených sborů. Často se lze také setkat s kombinací kynologie, kde jsou často využívány hlídací plemena psů, která jsou pro tyto účely šlechtěna. Fyzická ostraha se následně dělí do několika kategorií. [9], [11]

- **Z hlediska rozsahu výkonu**
  - Propustková
  - Obvodová
  - Celoplošná
  - Zásahová
- **Z hlediska času**
  - Vázaná na určitou dobu
  - Nepřetržitá
  - Nárazová
- **Z hlediska způsobu zajištění**
  - Vlastní ochrana
  - Smluvní ochrana
  - Kombinovaná ochrana
- **Z hlediska výzbroje a výstroje pracovníků**
  - Ozbrojená ochrana

- Neozbrojená ochrana [9], [11]

## Technická ochrana

Technická ochrana se využívá nejčastěji v kombinaci s fyzickou ostrahou, což má za následek maximalizaci bezpečnostní opatření a mnohonásobné snížení rizika vzniku nežádoucích incidentů díky vysoké efektivitě a spolehlivosti kombinace těchto dvou typů zabezpečení. Díky této kombinaci je navíc zajištěna nepřetržitá kontrola nad daným objektem, což zásadně přispívá k jeho ochraně. K zabezpečení objektu se využívá zejména mechanických zábranných systémů a elektronických prvků ochrany. Díky použití těchto typů ochrany lze ve velké míře předejít a odradit pachatele od vloupání či následné krádeže majetku. [9], [11], [14]

### 1.6 Plášťová ochrana

Jako plášťová ochrana je brána ochrana a detekce na plášti objektu. Zabývá se tedy čistě jen zabezpečením proti vloupání narušitele do budovy. Tato ochrana je tvořena především prvky mechanických zábranných systémů, které mají za cíl odradit, zabránit či ztížit narušiteli vstup do daného objektu. Jako plášť jsou především chápány výplně otvorů (okna, dveře, mříže) a stavební prvky, které tvoří zdivo.

#### 1.6.1 Stavební prvky

Mezi stavební prvky budovy se řadí zejména stěny, ale také podlahy, střechy a stropní konstrukce. Toto vše tvoří komplexní část mechanické plášťové ochrany. Odolnost těchto prvků závisí zejména na použitém materiálu, jeho vlastnostech, na tloušťce použitého materiálu či jeho zpracování. [15]

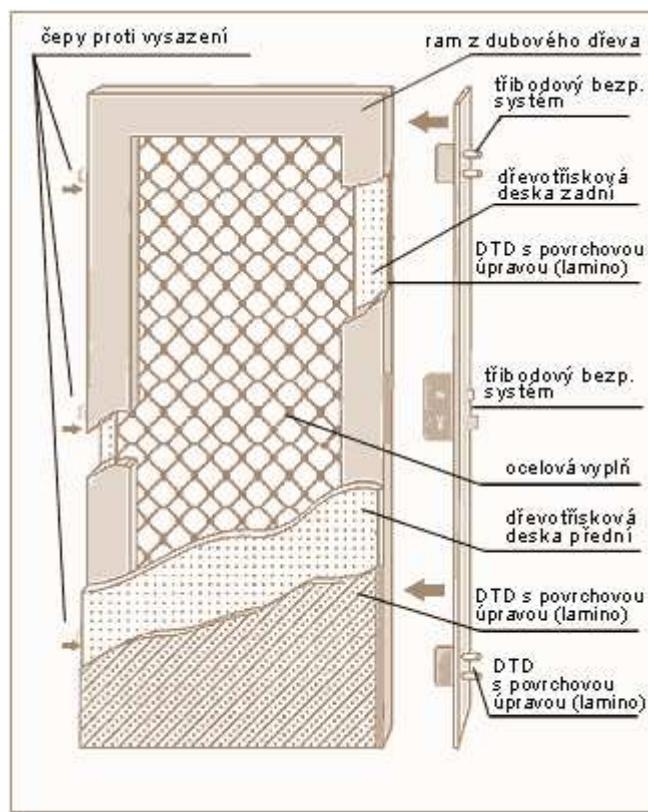
#### 1.6.2 Dveře

Dveře jsou hlavním přístupovým bodem do budovy. Tomu odpovídají i statistiky, které ukazují, že drtivá většina vloupání do objektu je právě skrze vstupní dveře. Proto je velmi důležité použít v domácnosti takové dveře, které nejsou pouze obyčejné za co nejnižší cenu, ale jsou už například bezpečnostní a zajišťují vysokou míru ochrany. Obyčejné dveře nezajišťují velkou míru zabezpečení. Jejich překonání je velmi jednoduché a vloupání do daného objektu je tedy snadné a bez velkého vynaložení úsilí. Obyčejné dveře lze překonat pouhým vyvrtáním otvoru do desky dveří, čímž se narušitel dokáže dostat k eliminaci vložky či k úplnému proniknutí dovnitř objektu.

## Bezpečnostní dveře

U tohoto typu dveří se klade důraz především na velmi kvalitní a odolné bezpečnostní vložky, které dokážou velmi účinně odolávat útokům, zejména pak planžetování. Toto je zapříčiněno velmi robustním kováním, které dokáže odolávat i násilným útokům s použitím různých nástrojů. Překonání tohoto typu dveří je také ztíženo o vyztuženou desku dveří, která je často složena z více vrstev, které mají uprostřed ocelový plát, který zabraňuje provrtání dveří. [14]

Bezpečnostní dveře musí být akreditované státní zkušebnou a mají příslušný certifikát osvědčující zařazení do některé z šesti tříd podle metodiky EU. Čím je vyšší třída, tím jsou dveře bezpečnější. Pro rodinné domy či byty jsou 3. a 4. třída dostačující a také jsou akceptovatelné od pojišťoven. Vedle efektu bezpečnosti plní také protipožární efekt. [16]



Obrázek 1 Bezpečnostní dveře

(Zdroj: [17])

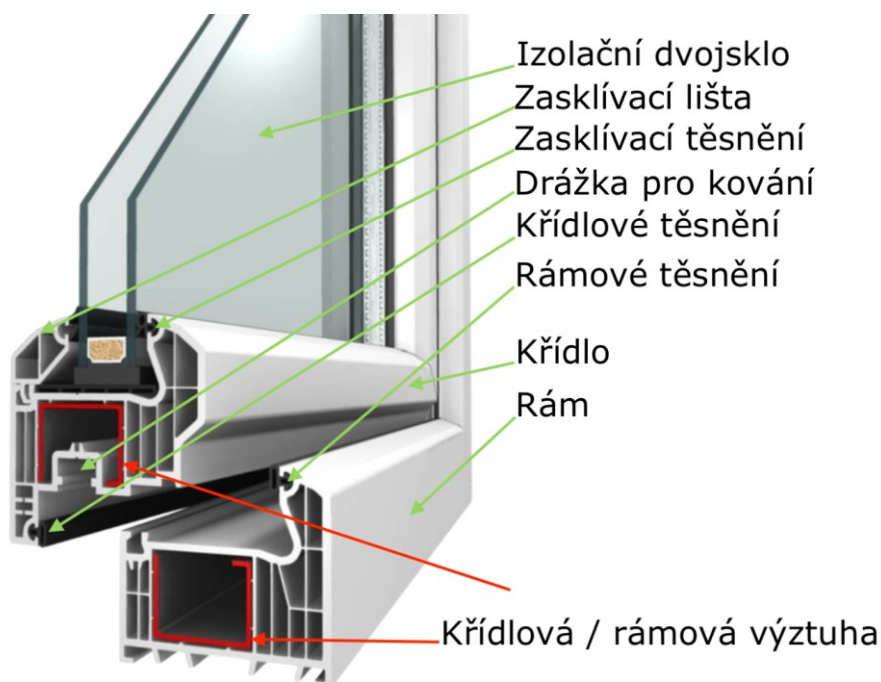
## Protipožární dveře

Protipožární dveře jsou jedním z nejdůležitějších prvků požární ochrany, které mohou zachránit majetek či životy v případě vzniku požáru. Protipožární dveře mohou zastavit šíření požáru v budově, což snižuje riziko vzniku dalších nežádoucích událostí. Nejdůležitějším prvkem u protipožárních dveří je osazení dveří do speciálních zárubní, které mají za cíl správné a těsné přilehnutí dveří a zabránění průniku kouře či plamenů. Protipožární dveře lze rozdělit podle odolnosti či podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Nejčastěji se používá dřevo, ocel nebo hliník.

### 1.6.3 Okna

Okna obecně jsou jedním z nejčastějších terčů útoků pachatele. U rodinných domů se totiž zanedbává bezpečnost z jejich strany a vniknutí do objektu skrze tyto okenní výplně je velmi jednoduchá, takřka bez použití velké námahy útočníka. Proto je velmi důležité, aby se zejména u rodinných domů začaly obyčejné skleněné výplně kombinovat s ostatními prvky, které dokážou zvýšit zabezpečení skleněných ploch.

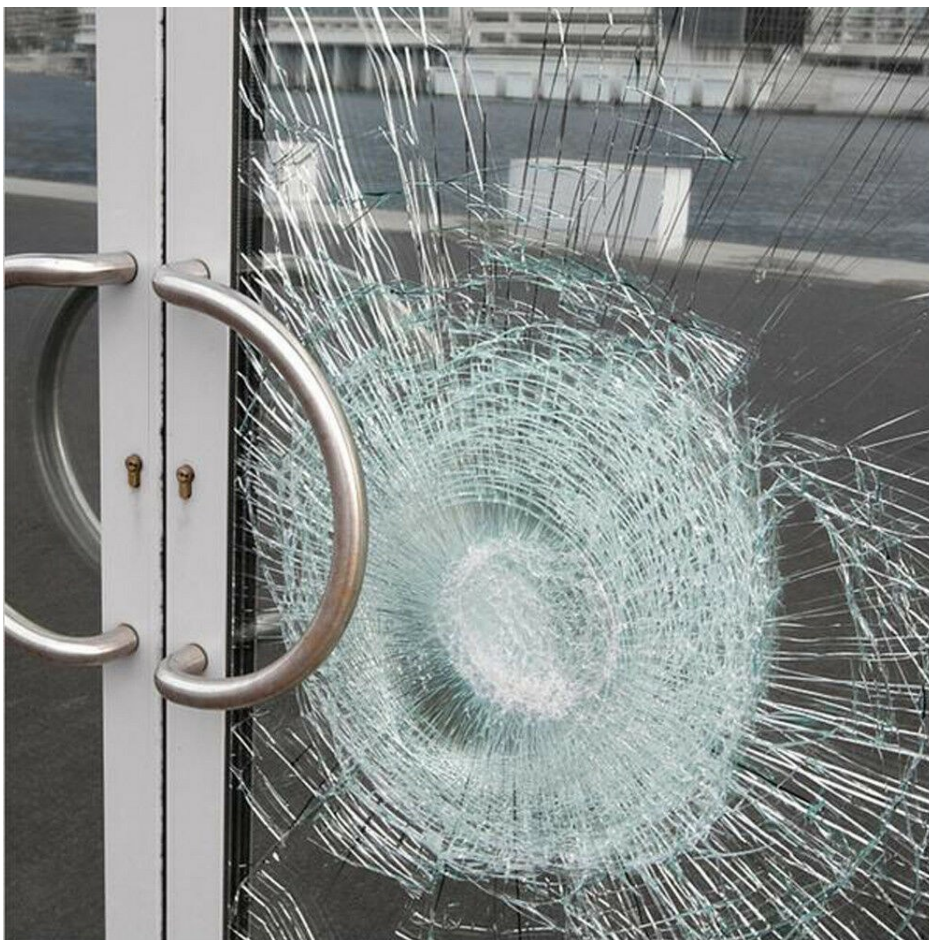
V případě otevíratelných oken je nejdůležitější, pro zajištění základní bezpečnosti, správné zavření oken. Toto tvrzení se může zdát jako naprostá banalita, ovšem je to základ pro bezpečnost. Mnoho případů vloupání je právě díky špatnému či žádnému zavření oken. Dalším, velmi významným, prvkem je správné ukotvení okenního rámu do obvodové stěny budovy. Toto dokáže také velmi ztížit práci narušiteli, protože okna pak nejdou tak snadno vypáčit.



Obrázek 2 Konstrukce okna

*(Zdroj: [18])*

Jednou z nejlevnějších možností, jak zvýšit odolnost skleněných výplní oken je použití bezpečnostní fólie. Tato fólie je nalepena z vnitřní strany skla za pomoci speciální tekutiny, která dopomáhá správnému nalepení. Proškolenému pracovníkovi může trvat nalepení takovéto fólie pár minut. Fólie dokáže následně zvýšit odolnost skla, čímž sklo dokáže odolávat vyšším tlakům a použití větší síly. Pokud se ovšem sklo rozbije, tak se neroztříští a nevysype se na zem, ale fólie zachová sklo nadále v rámu a zabrání tak volnému průchodu pachateli. Dále zamezí pořezání se o sklo, což může být také výhodou.



Obrázek 3 Poškozené okno s bezpečnostní fólií

*(Zdroj: [19])*

### **Bezpečnostní skla**

Bezpečnostní skla jsou dražší variantou, jak zajistit vyšší bezpečnost objektu. Tyto skla se zpravidla nepoužívají v rodinných domech, ale spíše ve výlohách obchodů či kancelářských budovách firem. Tyto bezpečnostní skla dokážou odolávat mnohem vyšším nárazům a zajišťují tak mnohem vyšší bezpečnost. Bezpečnostní skla se dělí zpravidla na tvrzená nebo vrstvená. Rozdíl je především ve výrobním procesu jednotlivých okenních tabulí.

Vrstvená skla jsou vyráběna pomocí vrstvení několika skleněných tabulí na sebe, které jsou společně mezi sebou slepovány po celé ploše. Mezi tyto vrstvy se navíc vkládají již zmíněné bezpečnostní fólie, které mají za následek mnohem vyšší pevnost proti úderu či prohození předmětem. [9]

Tvrzená skla mají výrobní proces poněkud jiný. Zde se používá trvalé pnutí, které působí na celou plochu skla. Toto má za následek vyšší pevnost skla, která dokáže následně zvýšit odolnost proti úderu. Nejsou ovšem tak odolná, jako skla vrstvená. [14]

### **Mříže, rolety, žaluzie**

Zde se jedná o bezpečnostní opatření, které je možné doplnit k již existujícím oknům. Jedná se o levnější variantu úpravy než například kompletní výměna oken, v současné době se ovšem často nevyužívá. Je to zřejmě díky estetice, která je při použití těchto bezpečnostních opatření naprosto změněna. Pro mnoho lidí je tedy tato forma ochrany nereálná a dají raději přednost nízké úrovni bezpečnosti před estetikou. Ovšem při použití těchto bezpečnostních opatření je nejdůležitější správné ukotvení konstrukce do obvodové zdi (nejlépe zabetonování či provrtání a ukotvení z vnitřní strany stěny), aby nebylo jednoduché konstrukci vytrhnout, a tak se jednoduše dostat přímo až k oknu.



Obrázek 4 Okenní mříže

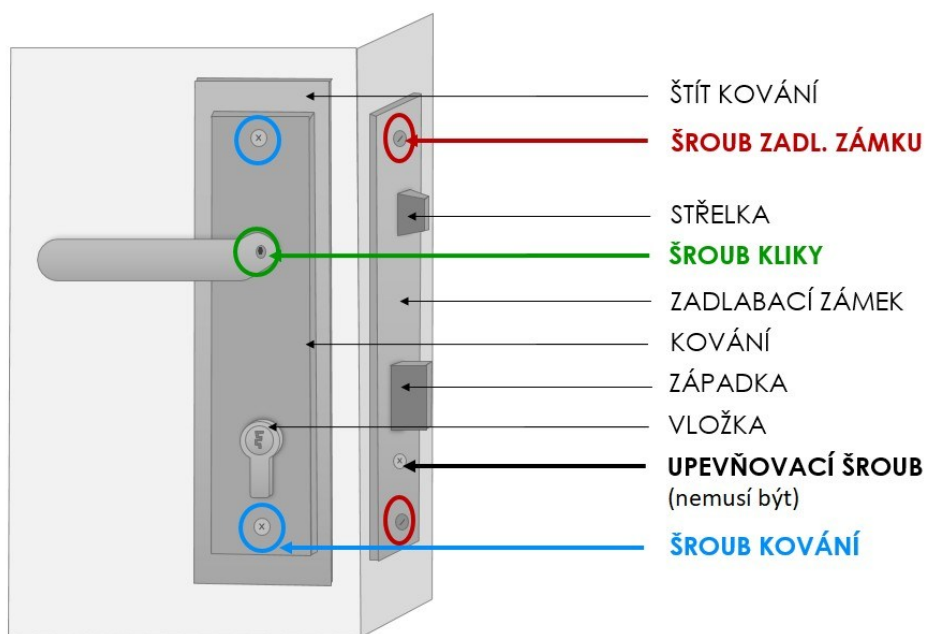
(Zdroj: [20])

#### **1.6.4 Zadlabací dveřní zámky**

Dveřní zámky jsou jednou ze základních bezpečnostních opatření, jak zamezit vstupu nepovolaným osobám. Jedná se již o docela starý způsob, jak zabezpečit svůj majetek. Obyčejné zadlabací dveřní zámky jsou v dnešní době ovšem velmi snadno překonatelné,

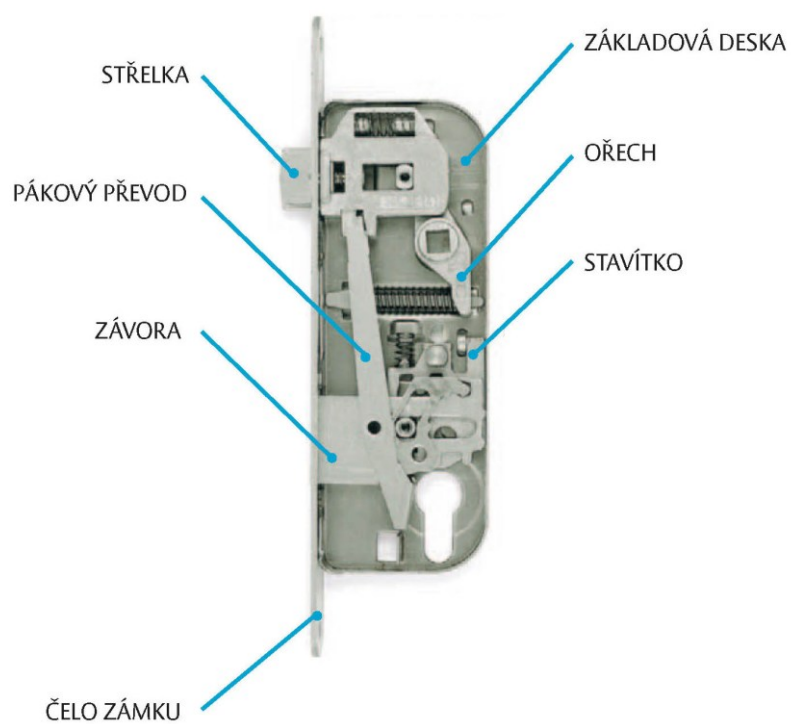
čímž vzniká značné riziko vniknutí do objektu. Proto se v poslední době objevili na trhu zámky bezpečnostní, které nejsou tak lehce překonatelné a narušitel musí vyvinout značnou míru násilí. Zadlabací dveřní zámky jsou rozděleny zpravidla do tří hlavních kategorií, a to zadlabací zámky pro obyčejný klíč, zadlabací zámky pro vložkový zámek FAB a zadlabací zámek pro použití u WC či koupelny. [13], [14], [21], [22]

Bezpečnostní zámky jsou tedy vyrobeny tak, aby dokázaly odolat násilným pokusům o vniknutí, jako jsou např. odvrtání, rozlomení či vyhmatání. Odolnost těchto zámků je především způsobena použitím tvrzených materiálů, jako jsou tvrzená ocel či slitiny s vysokou pevností. Lze se setkat i s variantou, která zajišťuje ještě vyšší míru zabezpečení pomocí využití vícebodového zamykání. [13], [14], [21], [22]



Obrázek 5 Vnější popis zadlabacího zámku

(Zdroj: [23])



Obrázek 6 Vnitřní popis zadlabacího zámku

(Zdroj: [24])

## **2 STAVEBNÍ PRVKY**

Stavební prvky jsou jednou z nejdůležitějších částí budovy. Jejich nevhodný výběr či dokonce nekvalitní výroba či stáří mohou značně ovlivnit celkové vlastnosti, které musí zdivo plnit. To může zásadně ovlivnit bezpečnost lidí jak v budově, tak mimo ni či dokonce značně zvýšit riziko vloupání. Proto je velmi důležité zvolit stavební prvky tak, aby plnily všechny požadavky, standardy a normy, které jsou v daném státě nutností.

### **2.1 Vývoj stavebních prvků v historii**

V průběhu historie docházelo k značným posunům ve všech směrech. Jak z hlediska vývoje lidstva, zbraní, vědy, tak ale i materiálů, které lidstvo potřebovalo pro svou existenci a přežití. Proto se i stavební prvky značně vyvíjeli společně s vědou a průmyslem podle potřeb a možností, které lidstvo potřebovalo.

Tabulka 3 Vývoj stavebních prvků

| Období                    | Použité stavební prvky                                                         |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Pravěk                    | Kosti, kůže                                                                    |
|                           | Dřevo, tráva, rákos, sláma                                                     |
|                           | Kámen, hlína, jíl                                                              |
| Starověk                  | Dřevo, tráva, rákos, sláma                                                     |
|                           | Kámen, hlína, jíl                                                              |
|                           | Sušené cihly na slunci, pálené cihly, glazované cihly, sádrová a vápenná malta |
| Starověký egypt           | Dřevo (vzácné), tráva, rákos, sláma                                            |
|                           | Hlína, jíl, kámen (vápenec, žula, čedič, pískovec)                             |
|                           | Sušené cihly na slunci                                                         |
| Egejská oblast            | Dřevo, tráva, rákos, sláma                                                     |
|                           | Kámen (vápenec), hlína, jíl                                                    |
|                           | Nepálená cihla, opracovaný kámen                                               |
| Antická oblast            | Dřevo, tráva                                                                   |
|                           | Kámen (vápenec, mramor), hlína, jíl                                            |
|                           | Kovy, pálené a nepálené hliněné cihly                                          |
| Středověk                 | Dřevo, tráva, rákos, sláma                                                     |
|                           | Kámen (vápenec, pískovec, žula), hlína, jíl                                    |
|                           | Nepálená cihla, pálená cihla, opracovaný kámen                                 |
| První průmyslová revoluce | Ocel, slitiny                                                                  |
|                           | Beton, železobeton                                                             |
| Druhá průmyslová revoluce | Ocel, slitiny, hliník                                                          |
|                           | Beton, železobeton, keramické materiály, pryž                                  |

(Zdroj: [2])

## 2.2 Normy pro stavební prvky

V současné době jsou stavební prvky navrhovány, vyráběny a testovány v souladu s přísnými normami, které platí na území jak České republiky, tak Evropské unie. Tyto normy zajišťují požadovanou minimální kvalitu, odolnost a bezpečnost stavebních prvků proti násilnému útoku. Dodržování stanovených norem zajišťuje, že je trh regulovaný a stavební prvky plní minimální požadavky pro bezpečnost společnosti.

- ČSN 73 4301 Obytné budovy
- ČSN ISO 2394 Obecné zásady spolehlivosti konstrukcí
- ČSN EN 1990 ed. 2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1993–1999 Návrhy konstrukcí
- ČSN 73 1318 Stanovení pevnosti betonu v tahu
- ČSN 73 2030 Statické zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí
- ČSN 73 2035 Zkoušení stavebních dílců na zatížení rázem
- ČSN 73 2044 Dynamické zkoušky stavebních konstrukcí
- ČSN EN 1052-1 Zkušební metody pro zdivo – Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku
- ČSN EN 1052-2 Zkušební metody pro zdivo – Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu
- ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích
- ČSN EN 1627 Dveře, okna, lehké obvodové pláště, mříže a okenice – Odolnost proti vloupání – Požadavky a klasifikace
- ČSN EN 1628 Dveře, okna, lehké obvodové pláště, mříže a okenice – Odolnost proti vloupání – Zkušební metoda pro stanovení odolnosti při statickém zatížení
- ČSN EN 1629 Dveře, okna, lehké obvodové pláště, mříže a okenice – Odolnost proti vloupání – Zkušební metoda pro stanovení odolnosti při dynamickém zatížení

## 2.3 Současné prvky

### 2.3.1 Stavební kámen

*„Stavebním kamenem rozumíme horninu vhodných fyzikálních, chemických a technologických vlastností, s přihlédnutím k vlastnostem estetickým, která byla cílevědomě člověkem vytěžena z přirozeného prostředí a v původní či opracované podobě použita jako konstrukční prvek různých druhů staveb.“ [25]*

Kámen se pro stavební účely využívá v mnoha oblastech, jako je například pro nosné stěny, obkladový prvek a v různých typech staveb. Dle normy ČSN 72 1860 se dělí na lomový kámen, kopáky, haklíky a kvádry. Každý jeden typ je využíván pro jiné účely staveb a má jiné rozměry. Dále je také velmi důležitý výběr správného druhu kamene, poněvadž nelze každý kámen opracovat na požadovanou velikost a tvar kvůli ztrátě svých mechanických vlastností. Pro opěrné a nosné zdi se ovšem nejčastěji využívá soklový kámen. V současné době ovšem není zdaleka tak rozšířen, jako tomu bylo v minulosti, hlavně díky masivnímu rozšíření oceli a betonu, které mají lepší mechanické vlastnosti. Stavební kámen má ale stále své zastoupení ve stavebnictví, a to hlavně díky jeho vlastnostem, kterými vyniká. Jedná se především o velkou hutnost, vysokou pevnost v tlaku a velmi dlouhou životnost. [25]

V Evropské unii není přírodní kámen nijak regulován pomocí norem. Česká republika ovšem disponuje vlastními normami, které se věnují například návrhům konstrukcí z kamene (ČSN 73 3251). [25]

Tabulka 4 Technické vlastnosti hornin

| Hornina  | Objemová hmotnost ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) | Pevnost v tlaku (Mpa) | Pevnost v ohybu (Mpa) |
|----------|-----------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Žula     | 2 600 - 2 800                                       | 120–140               | 10–35                 |
| Čedič    | 2 050 - 3 000                                       | 250–400               | 15–25                 |
| Pískovec | 2 000 - 4 000                                       | 30–80                 | 3–4                   |
| Vápenec  | 2 600 - 2 850                                       | 40–180                | 10–25                 |
| Dolomit  | 2 650 - 2 850                                       | 100–200               | 12–25                 |
| Křemenec | 2 500 - 2 700                                       | 300                   | Nespecifikováno       |
| Mramor   | 2 700 - 2 800                                       | 75–145                | 12–26                 |

(Zdroj: [25])

### Konglomerovaný kámen (syntetický kámen)

Jedná se o speciální druh kamene, který je vytvořen člověkem a ne přírodou. Při procesu výroby se navzájem pojí barevně a tvarově vybraná kamenná zrna, která jsou k sobě za pomoci vhodného pojiva slepeny. Tato směs se poté vylije do forem podobně jako beton a je následně nechána vytvrdnout za normální teploty. Nejčastěji se jako pojivo používají polymerní látky v poměru cca 10 % polymerního pojiva a 90 % drceného přírodního kamene. Díky použití drti z kamenů lze syntetický kámen považovat za ekologický způsob, jak využít jinak nepotřebné odštipky kamene. Velkou výhodou syntetického kamene může být také fakt, že lze snadno měnit jeho mechanické vlastnosti díky použití jiné směsi či jiných druhů pojiv. [25]

#### 2.3.2 Dřevo

Dřevo, jakožto stavební materiál, patří k jednomu z nejstarších stavebních materiálů vůbec. V současné době není dřevo tím nejrozšířenějším materiálem, ovšem stále stoupá jeho popularita a možnosti využití. Zřejmě za tento trend mohou dobré vlastnosti dřeva, zejména ve smyslu jednoduché opracovatelnosti či nízké hmotnosti. Dalším důležitým faktorem mohou být stále vyšší nároky na ekologičnost a udržitelnost. [25]

Dřevo se využívá především pro stavby prefabrikovaných rodinných domů či vytváření nosných konstrukcí ve spojení s ocelí či betonem. Díky tomuto lze vytvářet budovy s velmi náročnými geometrickými tvary, které by byly s jinými materiály velmi složité na výstavbu.

Vlastnosti dřeva závisí zejména na druhu dřeviny. Proto se častokrát lze setkat s variantou, že se dováží speciální exotické dřevo, které plní jiné vlastnosti a hodí se více do požadované výstavby. Hustota dřeva bývá ovšem u všech druhů dřevin přibližně stejná, za což může podobné složení dřevin. Přibližná hodnota hustoty se udává okolo  $1\,500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Pevnost dřeva je taky velmi dobrá. Ta se ale dokáže razantně měnit, pokud bude síla působit kolmo na vlákna či ve směru vláken. Pevnosti dřeva pro stavební konstrukce určuje norma ČSN EN 338, ve které jsou uvedeny typické hodnoty pevností, moduly pružnosti a hustoty pro jednotlivé druhy dřeva. [25]

Tabulka 5 Třídy pevností dřeva dle normy ČSN EN 338

|                                                     | Topol a jehličnaté dřeviny |      |      |      |      |      |      |      |      | Listnaté dřeviny |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|------|------|------|------|------|
|                                                     | C14                        | C16  | C18  | C22  | C24  | C27  | C30  | C35  | C40  | D30              | D35  | D40  | D50  | D60  | D70  |
| <b>Pevnostní vlastnosti (N.mm<sup>-2</sup>)</b>     |                            |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |
| <b>Ohyb</b>                                         | 14                         | 16   | 18   | 22   | 24   | 27   | 30   | 35   | 40   | 30               | 35   | 40   | 50   | 60   | 70   |
| <b>Tah rovnoběžně s vlákny</b>                      | 8                          | 10   | 11   | 13   | 14   | 16   | 18   | 21   | 24   | 18               | 21   | 24   | 30   | 36   | 42   |
| <b>Tah kolmo na vlákna</b>                          | 0,3                        | 0,3  | 0,3  | 0,3  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,4  | 0,6              | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,8  | 0,9  |
| <b>Tlak rovnoběžně s vlákny</b>                     | 16                         | 17   | 18   | 20   | 21   | 22   | 23   | 25   | 26   | 23               | 25   | 26   | 29   | 32   | 34   |
| <b>Tlak kolmo na vlákna</b>                         | 4,3                        | 4,6  | 4,8  | 5,1  | 5,3  | 5,6  | 5,7  | 6    | 6,3  | 8                | 8,4  | 8,8  | 9,7  | 10,5 | 13,5 |
| <b>Smyk</b>                                         | 1,7                        | 1,8  | 2    | 2,4  | 2,5  | 2,8  | 3    | 3,4  | 3,8  | 3                | 3,4  | 3,8  | 4,6  | 5,3  | 6    |
| <b>Tuhostní vlastnosti (kN.mm<sup>-2</sup>)</b>     |                            |      |      |      |      |      |      |      |      |                  |      |      |      |      |      |
| <b>Průměrný modul pružnosti rovnoběžně s vlákny</b> | 7                          | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 12   | 13   | 14   | 10               | 10   | 11   | 14   | 17   | 20   |
| <b>Průměrný modul pružnosti kolmo na vlákna</b>     | 0,23                       | 0,27 | 0,3  | 0,33 | 0,37 | 0,4  | 0,4  | 0,43 | 0,47 | 0,64             | 0,69 | 0,75 | 0,93 | 1,13 | 1,33 |
| <b>Průměrný modul pružnosti ve smyku</b>            | 0,44                       | 0,5  | 0,56 | 0,63 | 0,6  | 0,75 | 0,75 | 0,81 | 0,88 | 0,6              | 0,65 | 0,7  | 0,88 | 1,06 | 1,25 |

(Zdroj: [25])

Dřevo ovšem není vždy tím vhodným materiálem, který pro výstavbu zvolit. Je známo, že je dřevo velmi náročné na údržbu, která je nutná pro dlouho životnost dřeva. To se zabezpečuje především pravidelnými nátěry a broušením dřeva, které dokáže tento materiál ochránit před povětrnostními jevy. Další nevýhodou může být také fakt, že dřevo můžou poškodit škůdci, houby či plíseň, kteří také dokážou velmi razantně snížit životnost dřeva. Jo poslední, častokrát zásadní, nevýhodu dřeva lze vnímat jeho velmi špatná požární bezpečnost. Toto lze do jisté míry zmírnit pomocí speciálních laků, které dokážou odolávat vyšším teplotám. Tyto laky ovšem nikdy nedokážou jeho hořlavé vlastnosti změnit natolik, aby se dřevěné materiály vyrovnaly jiným stavebním prvkům (beton, pálené cihly). [25]

### 2.3.3 Beton

*„Beton je kompozitní látka vznikající ztvrdnutím směsi jeho základních složek, a to cementu jako nejčastěji používaného typu pojiva, kameniva (písku, šterku, drtě) jako plniva a vody. Je to druh staviva, které lze definovat jako umělý kámen vzhledově podobný přírodnímu slepenci. Příkladem jiných typů pojiv je asphalt (asfaltobetony), polymery (polymerbetony) nebo síra (sírobetony).“ [25]*

Vlastnosti betonu jsou zejména ovlivněny jeho složením, výrobním postupem a dobou tvrdnutí (zrání). Dále ovlivňuje vlastnost betonu také okolní prostředí (voda, vítr, teplota atd.), které mohou zásadně měnit jeho vlastnosti v postupu mnoha let. Postupem času bude

beton tedy degradovat, což může způsobit problémy. Pro beton je velmi charakteristická vysoká pevnost v tlaku. Využívá se proto v mnoha konstrukcích objektů. Nevyniká ovšem v pevnosti v tahu a smyku. Tyto hodnoty jsou jen zlomkové oproti pevnosti v tlaku, a proto by se prostý beton bez výztuže neměl využívat v konstrukcích, kde na něj bude působit namáhání ohybem. Tuto nežádoucí vlastnost lze do jisté míry omezit při vyztužení betonu ocelovými pruty nebo svařovanými železnými sítěmi (železobeton), nebo při vnesení předpětí na výztuž (předpjatý beton). Další formou vyztužení betonu může být vložení volně rozptýlených vláken do betonové směsi (vláknobeton). Tyto vlákna mohou být vyrobená z mnoha materiálů, ale používají se zejména materiály jako ocel, slitina, karbon či kevlar. [25]

Správnou kvalitu a splnění všech požadavků na beton určují opět normativní opatření, které jsou pro tento prvek velmi obsáhlé. Výrobu a kontrolu betonu zajišťuje norma ČSN EN 206-1. Dále se poté dělí normy do dvou základních kategorií, a to pro čerstvý a vytvrdnutý beton. Pro zkoušky čerstvého betonu platí normy ČSN EN 12350–1 až 7 a pro zkoušky vyzrálého betonu platí normy ČSN EN 12390–1 až 8. pro zkoušky betonu v konstrukci platí normy ČSN EN 12504–1 až 4, ČSN ISO 13822 a ČSN EN 13791. [25]

### **Železobeton**

Železobeton je stavební materiál, který vzniká spojením čerstvého betonu s ocelovými pruty nebo svařenými sítěmi. Při následném vytvrdnutí betonu tvoří jeden velmi pevný celek, který má velmi dobré mechanicko-fyzikální vlastnosti, protože se zde kombinují vlastnosti jak oceli, tak betonu. Železobeton vyniká především svou vysokou pevností v tlaku (díky betonu) a vysokou pevností v tahu (díky oceli). [25]

Pro získání požadovaných vlastností železobetonu je také velmi důležitá výroba. Při výrobě železobetonu je velmi důležité, aby mezi oběma materiály panovala dobrá soudržnost. Toto je nejčastěji zajištěno speciální úpravou povrchu oceli (žebříková výztuž), správným ukotvením výztuže nebo správnou směsí betonu (dostatek cementu a menší kamenitá drť). „*Správným zabetonováním ocelové výztuže do betonu se docílí stavu, při kterém beton převážně přenáší tlaková napětí a vložená ocelová výztuž tahová napětí.*“ [25]

### **Předpjatý beton**

*„Předpjatý beton je výsledkem postupného zvyšování kvality betonu i kvalitativních parametrů výztužných ocelí, při kterém se plně uplatňují jejich rozdílné mechanicko-fyzikální vlastnosti při zatížení v tlaku či tahu. Současně se plně využívá*

*podmínek jejich velmi dobrého vzájemného spolupůsobení (soudržnosti), které bylo základem rozvoje železobetonových konstrukcí.*

*Základní charakteristikou předpjatého betonu je vnesení napětí v tlaku do betonového prvku, a to především do míst, kde by jinak účinkem zatížení vznikala napětí v tahu. Vytvořené tlakové napětí musí ve všech částech prvku a za všech okolností montážního i provozního stádia stavby převyšovat ohybová napětí vyvozená působícím zatížením (včetně vlastní hmotnosti).*

*Vlivem předpětí a zatížení prvku dochází ke kombinaci tlaku s ohybem jako u kleneb (obdoba rovné klenby). V předpjatém betonu je tak vyloučen vznik trhlinek v tažené oblasti betonu. Předpjatý beton plně využívá velmi dobré únosnosti betonu v tlaku, což staticky vede k lepšímu využití celého průřezu a k odhmotnění betonových konstrukcí při větších rozpětích.“ [25]*

### **Vysokopevnostní beton**

Jedná se o speciální druh betonu, který spadá do skupiny vysokohodnotných betonů (HPC). Pro tento druh betonů je charakteristickou vlastností jejich vysoká pevnost v tlaku, která je vyšší než 65 MPa. V případě dodržení všech podmínek zrání dosahují tyto betony pevností v tlaku 80–180 MPa. Dalším prvkem, ve kterém HPC vyniká je vysoká pevnost v tahu. Tato vysoká pevnost v tlaku je zapříčiněna specifickým složením betonu, který obsahuje křemičitý úlet, který zvyšuje pevnost v důsledku pucolánové reakce. Tento křemičitý úlet se nachází ve složení max 5 % z celkové hmotnosti betonové směsi. Dále je při výrobním procesu dbáno na co nejvyšší hutnost cementového kamene, bez které by vysokopevnostní beton neměl správné vlastnosti. [25]

Využití vysokopevnostního betonu může být různorodé. Lze ho použít na stejných místech, jako by se použil klasický beton. Výhodou ovšem může být využití menšího množství výztuží či zmenšení průměru nosných konstrukcí. [25]

#### **2.3.4 Pálené zdící prvky**

Pálené zdící prvky patří obecně k jednomu z nejstarších stavebních prvků a v současné době se řadí do kategorie ke kusovým stavivům. Tyto staviva se vyznačují především přesným vymezením rozměrů, mnoha variantami jak z hlediska tvarů, tak vlastností. Vynikají především svou vysokou pevností v tlaku a také svými velmi dobrými tepelnými a akustickými vlastnostmi. Toto je zapříčiněno jejich složením a následným vypalováním ve

vysokých teplotách. Tyto mechanicko-fyzikální vlastnosti jsou ale velice proměnlivé dle použité směsi a úrovně vypálení. [25]

V současné době můžeme najít cihly v mnoha druzích staveb, od jednopodlažních budov po více podlažní bytové domy. Díky nízké ceně a výborným tepelným vlastnostem jsou pálené cihly neustále používány a neztrácejí na popularitě. V současné době ovšem nedokážou konkurovat mechanickým vlastnostem moderních materiálů, jako je například beton či železobeton. [25]

Rozdělují se především na tři základní rozměry:

- Skladebný rozměr – rozměr prvku včetně potřebného skladebního prostoru
- Jmenovitý rozměr – specifikovaný rozměr pro výrobce
- Skutečný rozměr – naměřený rozměr

Jako u každého prvku je zde opět mnoho norem, které definují správné rozměry, jejich vlastnosti a dělení. Norma ČSN EN 771-1 definuje dvě základní skupiny, do kterých se pálené cihly dělí. První skupinou je skupina HD (high density), do které spadají všechny prvky určené k použití v nechráněném a chráněném zdivu, které mají objemovou hmotnost za sucha větší než  $1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Do druhé kategorie LD (low density) spadají prvky, které jsou určené k použití v omítaném zdivu. Tyto prvky mají objemovou hmotnost nižší než  $1\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . V též normě jsou dále definovány vlastnosti, rozměrové tolerance, pevnost a objemovou hmotnost pálených zdících prvků. [25]

### 2.3.5 Vápenopískové zdící prvky

Vápenopískové prvky jsou v dnešní době další variantou pro stavbu zdiva. Jedná se o odzkoušený materiál, který dokáže nabídnout lehkou manipulaci a práci s prvkem, dobrou tepelnou izolaci, širokou škálu výrobků (cihly, bloky, kvádry, plné, děrované) a přesné rozměry prvku. Pevnostní značení vápenopískových bloků, kvádrů a cihel se udává jako označení P15, P20, P25, P30, P35, P40, kde jednotlivá čísla udávají průměrnou pevnost v tlaku v jednotkách MPa. Objemová hmotnost je poté u těchto prvků udávána v rozmezí  $1\,300 - 2\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . [25]

Nevýhodou vápenopískových výrobků může být jejich obrovská citlivost na účinky soli. Tato sůl (např. posypová) dokáže zničit povrch prvku, který následně začne ztrácet své izolační vlastnosti a začne tvořit na svém povrchu mapy, které se budou postupně odlupovat. [25]

Vápenopískové zdící prvky jsou vyráběny ze směsi vápna a přírodních křemičitých materiálů, které jsou následně společně rozdrceny a smíchány. Tato směs obsahuje přibližně 1 díl vápna a 10 dílů křemičité směsi. Tato směs je následně vylita do přichystaných forem a podrobena hydrotermálnímu procesu. [25]

Stejně tak jako ostatní stavební prvky jsou i vápenopískové prvky podrobeny normám, které zaručují jejich správné vlastnosti a výrobní procesy. Evropská norma ČSN EN 771-2 například stanovuje vlastnosti a požadavky pro prvky, které jsou využívány pro zděné konstrukce (zejména vnitřní a podzemní stěny). [25]

### 2.3.6 Autoklávovaný pórobeton

Jedná se o jeden z nejvýznamnějších druhů lehčeného betonu, pro který jsou charakterizující makropóry obsažené v samotné směsi a následném vytvrdnutém prvku. V současné době se pórobeton zabývá evropská norma ČSN EN 12602, která určuje především terminologii pórobetonu. Výhody využití pórobetonu lze spatřit zejména v nízké hmotnosti prvku a díky pórům je i velmi dobrým tepelným izolantem. Díky pórům má také ale jeho největší nevýhodu, a to je křehkost. [25]

Pro klasifikaci prvků se používá jejich charakteristická nejmenší pevnost v tlaku (MPa) a maximální průměrná objemová hmotnost v suchém stavu ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Označení poté vzniká následnou kombinací těchto dvou charakteristik. Označení může tedy vypadat například jako P2-400, kde P2 označuje minimální tlakovou pevnost 2 MPa a 400 označuje maximální objemovou hmotnost  $400 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . [25]

Výrobní proces postupuje tak, že se prvně křemičité látky jemně namelou, smíchají se a homogenizují se s páleným vápnem nebo cementem. Zde záleží převážně na požadované směsi. Následně se celá směs smíchá s vodou, aby vznikla tekutá homogenní kaše. Tato kaše se následně vyleje do forem, kde se nechá nakypřit a ztuhnout. Následně se tyto vytuhlé bloky nařezou na požadované velikosti a putují do autoklávu. Po vytažení z autoklávu se opracují a putují k zákazníkovi. Výrobce je také povinen deklarovat průměrnou pevnost v tlaku, která nesmí být ovšem nižší jak 1,5 MPa. Minimální pevnosti zdících prvků jsou stanovené dle evropské normy ČSN EN 772-1, která udává, že se normalizované prvky nesmí dostat pod hranici pevnosti 2,5 MPa v zónách s malou seismickou aktivitou. V zónách s vyšší seismickou aktivitou musí mít prvky nejméně pevnost 5 MPa. [25]

Mezi hlavní výrobky se řadí převážně tvárnice, bloky, překlady a bednicí prvky. I když jsou výsledné výrobky křehké, tak se nevyztužují podobně jako beton. Je to především kvůli

korozi, která by probíhala na ocelových tyčích, které nejsou tak dobře ochráněny jako u betonu, a to by mohlo mít za následek kritické změny vlastností prvku. „Evropská norma ČSN EN 771-4 stanovuje charakteristiky pórobetonových tvárnic a funkční požadavky na vlastnosti těchto tvárnic, určených zejména pro různé druhy nosných a nenosných zděných stěn. Tato norma definuje funkční vlastnosti, které souvisí s pevností, objemovou hmotností, rozměrovou přesností atd.“ [25]

Tabulka 6 Pevnostní třídy tlaku pórobetonu podle ČSN EN 12602

| Pevnostní třída | PB 1,5 | PB 2 | PB 2,5 | PB 3 | PB 3,5 | PB 4 | PB 4,5 | PB 5 | PB 5,5 | PB 6 | PB 7 |
|-----------------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|------|
| $f_a$ (MPa)     | 1,5    | 2    | 2,5    | 3    | 3,5    | 4    | 4,5    | 5    | 5,5    | 6    | 7    |

(Zdroj: [25])

## 2.4 Testování stavebních prvků

**Zákon č. 22/1997 Sb.**

### „Státní zkušebnictví (§ 9)

*Státní zkušebnictví je soubor činností uskutečňovaných Úřadem a osobami pověřenými podle tohoto zákona, jejichž cílem je zabezpečit u výrobků stanovených podle tohoto zákona posouzení jejich shody s technickými požadavky stanovenými nařízeními vlády (dále jen "posouzení shody") a u stavebních výrobků s označením CE posouzení a ověření stálosti jejich vlastností podle přímo použitelného předpisu pro stavební výrobky.“ [26]*

**Nařízení vlády č. 163/2002 Sb.**

### Stavební technické osvědčení

*„Stanovené výrobky jsou výrobky, které představují zvýšenou míru ohrožení oprávněného zájmu a u kterých proto musí být posouzena shoda. Technické požadavky na stanovené výrobky jsou požadavky, které musí tyto výrobky splňovat, aby mohly být uvedeny na trh, popřípadě do provozu, a změny souvisejících ustanovení vyhlášek (technických předpisů) vydaných ministerstvy a jinými ústředními správními úřady, pokud by vznikl rozpor s nařízeními vlády.*

*Skupiny stanovených stavebních výrobků jsou výrobky:*

- *Pro betonové a železobetonové části staveb,*
- *pro zděné stavby,*

- *ze dřeva a dřevěné konstrukce,*
- *pro kovové konstrukce“ [25], [27]*

## 2.5 Současný stav problematiky

V současné době se oblast stavebních prvků, a jejich mechanické odolnosti, řídí zejména prostřednictvím Stavebního zákona č. 283/2021 Sb. a navazujícími právními předpisy společně s technickými normami. Stavební zákon stanovuje základní požadavky na výstavbu a použití stavebních výrobků s ohledem na bezpečnost lidí, stabilitu a mechanickou odolnost samotných budov. [28]

Ve stavebních zákoně je poté samotná část pro technické požadavky na stavby, kde jsou mimo jiné zmíněné i požadavky pro mechanickou odolnost. Všechny tyto požadavky se nachází v díle 4 Stavebního zákona. [28]

### Základní požadavky na stavby (§ 145)

1. *„Stavba musí být navržena a provedena tak, aby byla vhodná pro určené využití a po celou dobu trvání plnila při běžné údržbě a působení běžně předvídatelných vlivů základní požadavky na stavby, kterými jsou*
  - a. mechanická odolnost a stabilita,*
  - b. požární bezpečnost,*
  - c. ochrana zdraví,*
  - d. ochrana životního prostředí,*
  - e. bezpečnost a přístupnost při užívání, provozu a údržbě,*
  - f. úspora energie,*
  - g. udržitelné využívání přírodních zdrojů.*
2. *Při projektové činnosti, při povolování, provádění a užívání staveb v působnosti jiných stavebních úřadů nebo u staveb jaderného zařízení a staveb v areálu jaderného zařízení, které jsou jaderným zařízením<sup>31)</sup>, se technické požadavky na stavbu stanovené tímto zákonem nebo jinými právními předpisy použijí přiměřeně tak, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti, ochrany zdraví a života osob nebo zvířat a životního prostředí.“ [28]*

**Požadavky na mechanickou odolnost a stabilitu stavby (§ 146)**

(1) „Stavba musí být navržena a provedena tak, aby účinky zatížení a nepříznivé vlivy prostředí, kterým je vystavena během výstavby a užívání, neměly za následek

- a. náhlé nebo postupné zřícení stavby nebo její části,
- b. nepřípustné deformace, které mohou narušit stabilitu stavby, mechanickou odolnost a funkční způsobilost stavby nebo její části,
- c. poškození částí stavby nebo technických zařízení anebo instalovaného vybavení v důsledku deformace nosné konstrukce,
- d. poškození stavby v míře nepřiměřené původní příčině,
- e. ohrožení provozuschopnosti dopravní a technické infrastruktury v dosahu stavby nebo staveniště,
- f. poškození stavby vlivem nepříznivých účinků podzemních vod nebo dynamickými účinky povodňových průtoků, popřípadě hydrostatickým vztlakem při zaplavení,
- g. ohrožení průtočnosti koryt vodních toků, popřípadě údolních profilů mostů a propustků.

(2) Stavby umístěné v dosahu účinků hlubinného dobývání nebo v dosahu seizmických účinků se navrhují též s ohledem na předpokládané deformace základové půdy, způsobené projevy důlní nebo seizmické činnosti na povrchu.“ [28]

**Požadavky na výrobky pro stavby (§ 153)**

1. „Pro stavby mohou být navrženy a použity jen takové výrobky, materiály a konstrukce, jejichž vlastnosti z hlediska způsobilosti stavby pro navržený účel zaručují, že stavba při správném provedení a běžné údržbě po dobu předpokládané existence splní základní požadavky na stavby.
2. Výrobky pro stavby, které mají rozhodující význam pro výslednou kvalitu stavby a které by mohly ve zvýšené míře ohrozit život nebo zdraví osob nebo zvířat, bezpečnost anebo životní prostředí, popřípadě jiný veřejný zájem, jsou stanoveny a posuzovány podle jiných právních předpisů.“ [28]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

### 3 STATICKÉ MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Statické zkoušky patří mezi naprostý základ mechanických zkoušek materiálů. Tento zkoušený materiál se testuje postupným zatěžováním bez rázů a otřesů, které mohou ovlivnit tyto zkoušky. Statické mechanické zkoušky se mohou provádět pouze jednou nebo také opakovaně. Do statických mechanických zkoušek materiálů se řadí zejména zkoušky tahu, tlaku, ohybu, krutu a střihu. Pro tuto bakalářskou práci byly vybrány pouze zkoušky tlaku a ohybu, které jsou k dané řešené problematice relevantní.

#### 3.1 Zkouška pevnosti v tlaku

S tlakovou zkouškou se lze velmi často setkat u testování materiálů, které spadají do kategorií právě stavebních hmot či u křehkých materiálů (šedá litina). Zkušebním tělesem musí být vždy buď válec, jehož výška je totožná s jeho průměrem (pro kovy). Dalším tělesem může být krychle, která se používá právě v oblasti testování stavebních materiálů a dřeva. Protože se práce zabývá testováním právě stavebních materiálů, tak bylo zvoleno z vyplývajících postupů právě těleso ve tvaru krychle.

Průběh tlakové zkoušky materiálu lze rozdělit do tří základních částí. V první části stoupá křivka velmi strmě, protože materiál odolává vyvíjenému tlaku a tvoří se tzv. tlakové kužele. V druhé části se hmota daného tělesa začíná „posouvat“ po kuželových plochách do stran, což se projevuje v grafu mírným vzrůstem napětí vůči deformaci. Ve třetí fázi se vzájemně kužele přiblíží a graf stlačení opět strmě stoupá. Ke třetí fázi zpravidla nedochází, protože již ve druhé fázi dochází k rozdrčení daného materiálu. [29], [30], [31]



Obrázek 7 Graf průběhu tlakové zkoušky

(Zdroj: Vlastní záznam)



Obrázek 8 Zkouška pevnosti v tlaku

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

### 3.2 Zkouška pevnosti v ohybu

Zkouška pevnosti v ohybu se používá nejčastěji při zkouškách křehkých materiálů, jako jsou různé litiny, které se poruší již při malém průhybu. Dle logiky věci, kdy se práce zabývá mechanickou odolností stavebních prvků vůči násilnému vniknutí, lze tuto testovací metodu použít i u stavebních materiálů. Při představě, že kladivo udeří do zdi, tak je zřejmé, že na daný materiál působí i síly, které se dají přirovnat k testování materiálu v ohybu.

Zkušební materiál je podepřen dvěma pevnými válečky v určité vzájemné vzdálenosti, aby se při průhybu nezamezovalo ohybu daného materiálu. Na tento materiál poté z horní strany působí stroj na jednom či dvou místech, nejčastěji ve středu vzdálenosti podpěrných válců. Při této zkoušce jsou nejdůležitější hodnoty při maximální síle a maximálním průhybu materiálu, než došlo k trvalému poškození materiálu. Čím větší je hodnota průhybu materiálu, tím lépe materiál dokáže odolat daným silám. [29], [30], [31]



Obrázek 9 Graf průběhu ohybové zkoušky

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

Obrázek 10 Zkouška pevnosti v ohybu

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

## 4 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Cílem bakalářské práce je zjistit mechanickou odolnost vybraných stavebních prvků vůči násilnému vniknutí. K dosažení tohoto cíle bylo stanoveno několik dílčích kroků. Nejprve byla provedena podrobná literární rešerše, která byla zaměřena na problematiku pasivní bezpečnosti budov a mechanických vlastností běžně používaných stavebních prvků. Následně byly vybrány konkrétní typy zdících materiálů, které byly z hlediska dostupnosti a četnosti použití ve výstavbě vhodnými kandidáty pro experimentální testování.

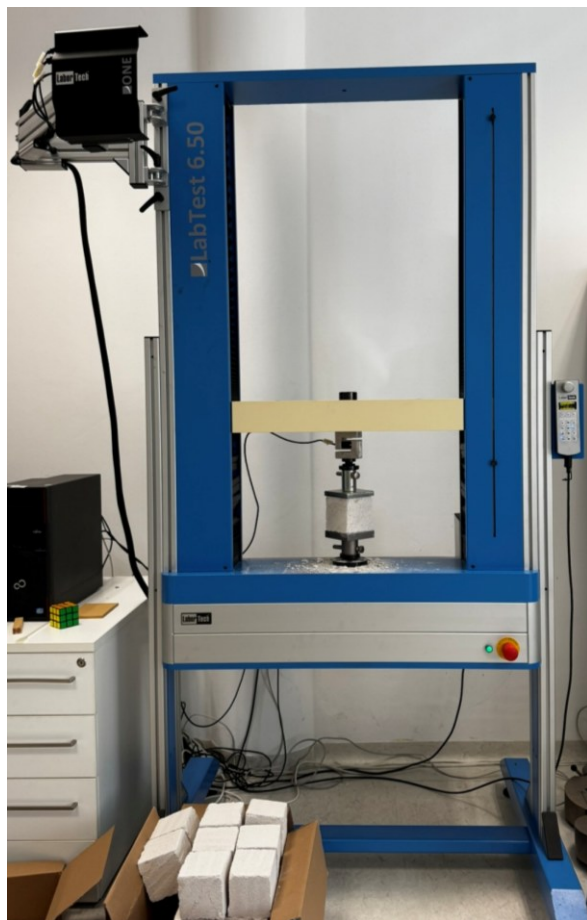
Tyto vybrané materiály byly následně upraveny tak, aby si navzájem odpovídaly tvarem a velikostí. Díky těmto úpravám mohou být změřená data srovnatelná. Při testování jednotlivých prvků byla sledována především schopnost odolávat statickému mechanickému zatížení v podobě tlaku či ohybu a schopnost odolávat dynamickému rázu kladivem. Následně byla získaná data statisticky vyhodnocena za účelem porovnání jednotlivých prvků mezi sebou.

Dílčím cílem práce je také poukázat na materiálové nedostatky, které mohou vést ke snadnému překonání stavebních prvků. Tyto nedostatky mohou mít za následek ohrožení bezpečnosti chráněného objektu, osob či majetku v něm. V závěru práce je také uvedeno doporučení pro výběr vhodného stavebního materiálu s cílem zlepšení úrovně pasivní ochrany.

Přínosem této práce je nejen ověření mechanické odolnosti stavebních prvků, které jsou běžně využívány ve výstavbách běžných rodinných domů, ale také vytvoření podkladu pro kvalifikované rozhodování při návrhu bezpečnostních opatření ve stavebnictví. Získaná data mohou sloužit jako opora pro projektanty, architekty a odborníky zabývajícími se bezpečnostními standardy v oblasti pasivní bezpečnosti budov.

## 5 TESTOVACÍ ZAŘÍZENÍ LABTEST 6.50

Zkušební zařízení LabTest 6.50 je univerzální elektromechanické zařízení vyvinuté společností LABORTECH pro provádění statických mechanických zkoušek různých materiálů. Zařízení disponuje možností provádění jak tahových, tak tlakových i ohybových zkoušek. Díky své robustnosti a vysoké přesnosti je často využíván ve školských zařízeních, výzkumných institucích a průmyslu. [32]



Obrázek 11 Zkušební zařízení LabTest 6.50

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

### 5.1 Technické parametry zařízení

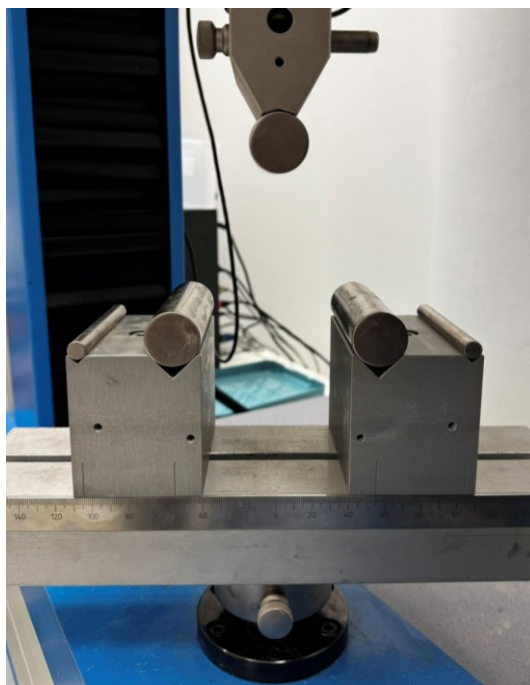
LabTest 6.50 je dvousloupový stroj s maximální možností zatížení 50 kN neboli cca 5 tun. Toto umožňuje provádění zkoušek u široké škály materiálů s různými odolnostmi. Zařízení je vybaveno kuličkovým šroubem s předpětím a lineárním vedením, což zajišťuje vysokou přesnost a opakovatelnost měření. Tento stroj dále obsahuje 24bitový AD převodník a smplovací frekvenci 1 kHz, čímž je docíleno velmi přesného zkoušení ve velmi vysokém rozsahu. [32]

Rychlost pohybu je nastavitelná v rozmezí 0,0005 mm/min až 1000 mm/min. Toto rozmezí rychlosti opět umožňuje velmi přesné přizpůsobení pro různé specifické zkoušky. Zařízení je také kompatibilní s mnoha různými příslušenstvími, jako jsou průtahoměry, sondy, ochranné bezpečnostní kryty atd. [32]

## 5.2 Nastavení přístroje pro měření

Pro samotné ovládání přístroje slouží software Test & Motion, který umožňuje jednoduché a intuitivní ovládání. V tomto softwaru je následně možné nastavení testovacích parametrů, sledování průběhu zkoušky v reálném čase a následné vyhodnocení výsledků.

Při samotném provádění zkoušek byla nastavena maximální působící síla nastavena na hodnotu 49 500 N, čímž byl přístroj chráněn před přetížením. Rychlost pohybu příčníků byla nastavena na 10 mm/min, což umožnilo přesné a kontrolované zatížení vzorku po čas testování. Tato nastavení byla vybrána zejména s ohledem na testovaný materiál a požadovanou přesnost daného měření. Celkově poskytlo zařízení LabTest 6.50 spolehlivou a přesnou platformu pro testování statických mechanických zkoušek stavebních materiálů. Pro zkoušky ohybem byla nastavena vzdálenost podpěrných válečků na hodnotu 110 mm.



Obrázek 12 Vzdálenost podpěrných válečků

(Zdroj: Vlastní záznam)

## 6 PŘÍPRAVA TESTOVANÝCH VZORKŮ

Jako testovací prvky byly zvoleny pálená cihla a pórobetonový prvek značky Ytong, které byly následně podrobeny testování na stoji LabTest 6.50 v laboratoři mechanických zkoušek. Tyto prvky bylo nutné upravit tak, aby si navzájem odpovídaly velikostí a tvarem, a bylo tak možné zajistit porovnatelnost výsledků z jednotlivých zkoušek.

K původně zamýšleným testovaným prvkům (stará pálená cihla, nová pálená cihla a Ytong) byla přidána moderní pálená keramická cihla, která se v současné době hojně využívá ve výstavbách rodinných domů. Tento prvek byl využit pouze při rázové zkoušce kladivem. Toto rozhodnutí bylo učiněno zejména kvůli specifické struktuře keramické pálené cihly, která je vevnitř děrovaná a při pokusu o její rozměrovou úpravu by došlo k narušení její struktury. Tato úprava by měla za následek výraznou změnu jejích mechanických vlastností a výsledky z těchto testů by byly naprosto irelevantní.

### 6.1 Výběr vhodné velikosti testovaných prvků

Před samotným testováním bylo nejdříve potřeba ověřit technické možnosti zkušebního stroje LabTest 6.50. Od výrobce bylo známo, že stroj dokáže vyvinout tlak až 50 tun. Nebylo ovšem jisté, zda je tento tlak dostatečný pro tlakové zkoušky pálených cihel. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto o připravení zkušebních vzorků ve tvarech krychle s hranami 5 a 10 cm. Tyto vzorky následně sloužily pro správné ověření funkčnosti zařízení a k rozhodnutí, zda jsou zkoušky možné uskutečnit.



Obrázek 13 Zkušební vzorky ve velikostech 5×5 cm a 10×10 cm

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

Na základě získaných výsledků bylo rozhodnuto o vytvoření vzorků obou materiálů ve tvarech krychle s hranami 7 cm, které byly využity pro tlakové zkoušky. Tato velikost byla

zvolena jako vhodný kompromis mezi dostatečným zatížením materiálu a schopnostech testovacího zařízení.



Obrázek 14 Zkušební vzorky pálené cihly o rozměrech 70×70×70 mm

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

Pro zkoušky ohybem bylo stanoveno využití originální velikosti pálené cihly, která má rozměry 290×140×65 mm. Pórobetonová tvárnice značky Ytong byla tedy upravena na stejnou velikost, aby byla zajištěna možnost přímého porovnání mezi oběma materiály. Rozměrová úprava byla provedena z původní tvárnice o rozměrech 599×249×100 mm.



Obrázek 15 Zkušební vzorky Ytongu a pálené cihly ve stejných rozměrech

*(Zdroj: Vlastní záznam)*



Obrázek 16 Zkušební vzorky Ytongu v rozměrech 290×140×65 mm

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

Pro zkoušky úderem kladivem byly u všech testovaných prvků jejich původní velikosti zachovány, čímž bylo docíleno nejvěrnější simulace reálného poškození v praxi (například násilné vniknutí do objektu).

## 6.2 Použité nástroje pro úpravu velikostí prvků

Pro samotnou úpravu prvků bylo nutné využití mnoha nástrojů, kterými bylo docíleno správného upravení velikostí stavebních prvků. Pro všechny velikostní úpravy prvků bylo využito svinovacího metru značky Stanley, který byl použit pro správné zaměření požadované velikosti. Dále bylo využito železného úhelníku, díky kterému byly vždy správně zakresleny dělicí čáry a byl správně odměřen pravý úhel.

Pro úpravu velikosti Ytongu byla použita speciální pila na pórobeton značky Libros, která disponuje 34 břitovými destičkami. Typů těchto pil na pórobeton je více a liší se zejména materiálem, ze kterého je rukojeť vyrobena a poté následnou délkou ocelového listu, který disponuje různým počtem břitových destiček. Díky této pile bylo docíleno rovného a přesného řezu, kterým nebyla poškozena struktura stavebního prvku a měl tedy stejné mechanické vlastnosti jako prvek v originální velikosti.



Obrázek 17 Použité nástroje pro úpravu velikosti Ytongu

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

Pro rozdělení pálených cihel bylo využito úhlové brusky Millwaukee AGV 13-125 XSPDE, která disponuje výkonem 1 250 W. Tato úhlová bruska byla dále vybavena řezným diamantovým kotoučem, který disponuje lepšími vlastnostmi z hlediska vyšší odolnosti a efektivnějšího řezání tvrdých materiálů, mezi které pálená cihla bezesporu patří. U obyčejných kotoučů hrozí jejich přehřívání, opotřebení a deformace, což nebylo vhodným řešením při přípravě přesných testovacích vzorků. '

Díky vhodně zvoleným nástrojům a pomůckám bylo dosaženo přesného a šetrného zpracování stavebních prvků, díky čemuž byly zachovány jejich původní mechanické vlastnosti. Každý nástroj byl pečlivě vybrán s ohledem na specifické vlastnosti jednotlivých stavebních materiálů, což umožnilo vytvoření přesných testovacích vzorků, které odpovídali požadovaným rozměrům a kvalitativním požadavkům.

## 7 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ ZKOUŠEK

### 7.1 Tlaková zkouška pro novou pálenou cihlu

Připravené vzorky byly postupně vkládány do testovacího zařízení. Po správném umístění byl test skrze zmíněný software spuštěn a na stavební prvek byl vyvíjen tlak. Ve všech případech došlo k úplnému prasknutí materiálu. Průběh zkoušky byl u všech vzorků podobný, tedy po dosažení určité hodnoty zatížení došlo k náhlému porušení vnitřní struktury prvku, čímž vzorek ztratil svou pevnost.



Obrázek 18 Prasknutí pálené cihly při zkoušce tlakem

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

U všech testovaných vzorků pálených cihel bylo dosaženo velmi podobných hodnot maximální síly (FH), která se pohybovala okolo hodnot 49 000 N. Z tohoto lze vyvodit, že mají pálené cihly velmi podobnou strukturu a složení jednotlivých vzorků a výrobní proces je tedy velmi konzistentní. Ve všech testovaných případech nebyla dosažena maximální nastavená hodnota stroje, ke které se ovšem maximální síly blížily. K dosažení této maximální hodnoty naštěstí nedošlo a zkoušku nebylo nutné přerušovat kvůli přetížení testovacího stroje.

Tabulka 7 Tlaková zkouška pro novou pálenou cihlu

| Tlaková zkouška – CIHLA |         |                        |       |         |
|-------------------------|---------|------------------------|-------|---------|
| Pořadí                  | FH[N]   | RH[N/mm <sup>2</sup> ] | AH[%] | dLH[mm] |
| 1                       | 49036,6 | 4,9                    | 5,1   | 2,5     |
| 2                       | 49002,7 | 4,9                    | 6,3   | 3,2     |
| 3                       | 49017,8 | 4,9                    | 5,7   | 2,8     |
| 4                       | 49012,5 | 4,9                    | 8,9   | 4,5     |
| 5                       | 49019,6 | 4,9                    | 8,6   | 4,3     |
| 6                       | 49024,8 | 4,9                    | 5,9   | 2,8     |
| 7                       | 49033,2 | 4,9                    | 5,9   | 2,7     |
| 8                       | 49046,1 | 4,9                    | 12,1  | 6,0     |
| 9                       | 49007,0 | 4,9                    | 13,4  | 6,6     |
| 10                      | 49029,3 | 4,9                    | 13,7  | 6,9     |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Hodnoty dalších sledovaných parametrů, jako byla například deformace (dLH) nebo poměrné prodloužení (AH) ukazují jistý rozptyl. Tento rozptyl je ovšem, dle rešerše, u těchto materiálů očekávaný. Testované pálené cihly vykazují velmi dobrou konzistenci z hlediska tlakové pevnosti a velmi dobré chování při tlakovém zatížení. Z těchto dat a poznatků lze konstatovat, že jsou pálené cihly vhodnou variantou pro použití ve stavbách z hlediska zajištění pasivní bezpečnosti, díky jejich velmi dobré odolnosti proti přímému tlaku.

#### Statistické vyhodnocení tlakové zkoušky nových pálených cihel:

- Průměrná hodnota maximální síly (FH): 49 023 N
- Rozptyl (min – max): 43 N

## 7.2 Tlaková zkouška pro pórobetonovou tvárnici (Ytong)

Stejným způsobem, jako u vzorků z pálených cihel, byly do testovacího zařízení LabTest 6.50 vkládány velikostně upravené vzorky pórobetonu značky Ytong. Po kontrole správného umístění prvku a spuštění testovací sekvence bylo na každý prvek vyvíjeno tlakové zatížení až do momentu porušení struktury.



Obrázek 19 Prasknutí pórobetonu při zkoušce tlakem

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

U pórobetonu byla ovšem situace prasknutí na rozdíl od cihel akusticky méně znát. Bylo ovšem zajímavé, že po prasknutí vzorku pórobetonu vzorek ztratil naprosto své vlastnosti a nijak už tlaku neodporoval. Začal se pouze drolit. Toto bylo zapříčiněno zejména díky jejich pórovité struktuře a křehkosti materiálu. Z hlediska dosažených hodnot maximální síly (FH) jsou výsledky značně rozdílnější než u předešlých pálených cihel. Zde se hodnoty pohybovaly v rozmezích hodnot 28 758 N až 31 058 N. Tento rozptyl je vzhledem k pórovitosti materiálu pochopitelný.

Tabulka 8 Tlaková zkouška pro Ytong

| Tlaková zkouška – YTONG |         |                        |       |         |
|-------------------------|---------|------------------------|-------|---------|
| Pořadí                  | FH[N]   | RH[N/mm <sup>2</sup> ] | AH[%] | dLH[mm] |
| 1                       | 30004,3 | 3                      | 4,9   | 2,4     |
| 2                       | 29858,6 | 3,0                    | 4,6   | 2,2     |
| 3                       | 28758,0 | 2,9                    | 4,7   | 2,3     |
| 4                       | 30791,2 | 3,1                    | 5,0   | 2,4     |
| 5                       | 30234,6 | 3,0                    | 4,8   | 2,3     |
| 6                       | 29194,2 | 2,9                    | 4,5   | 2,2     |
| 7                       | 31058,9 | 3,1                    | 5,6   | 2,6     |
| 8                       | 29176,3 | 2,9                    | 5,2   | 2,5     |
| 9                       | 30071,5 | 3,0                    | 4,7   | 2,3     |
| 10                      | 30037,9 | 3                      | 4,8   | 2,3     |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Z hlediska poměrného prodloužení (AH) a deformace (dLH) se jednotlivé vzorky lišily minimálně. Průměrná deformace vzorku do jeho porušení byla cca 2,35 mm, což ukazuje na konzistentní odezvu materiálu na vyvíjené zatížení.

#### Statistické vyhodnocení tlakové zkoušky pórobetonu značky Ytong:

- Průměrná hodnota maximální síly (FH): 29 919 N
- Rozptyl (min – max): 2 301 N

### 7.3 Porovnání výsledků tlakové zkoušky

Na základě provedených tlakových zkoušek bylo možné získat výsledky mezi dvěma základními, častými a vhodnými materiály pro testování mechanické odolnosti. Tímto bylo docíleno vzájemného porovnání těchto dvou prvků. Klíčovým sledovaným parametrem byla především hodnota maximální síly (FH), při které došlo k porušení struktury testovaného vzorku.

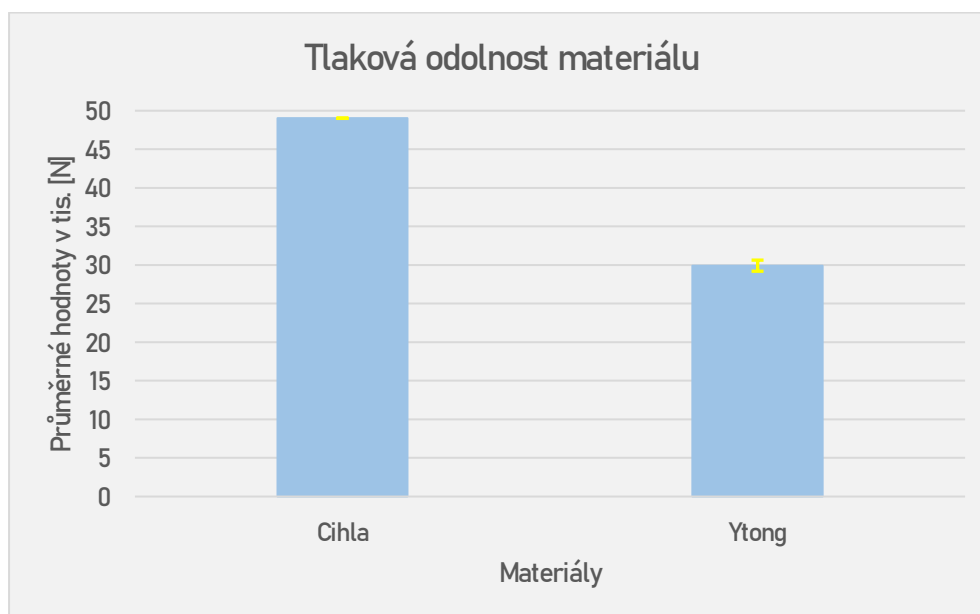
Pálené cihly dosahovaly ve všech případech velmi podobných hodnot okolo 49 000 N. Materiál se vyznačoval velmi vysokou pevností v tlaku, ale při překročení meze došlo k naprostému prasknutí materiálu. Oproti tomu vzorky z pórobetonu vykazovaly v průměru maximální hodnoty síly (FH) okolo 29 900 N. Rozdíl mezi těmito dvěma materiály je přibližně 19 000 N, což odpovídá zhruba 60 % pevnosti pálené cihly. Při porušení vzorků pórobetonu docházelo spíše k rozdrolení daného materiálu jak k jednoznačnému prasknutí, jako tomu bylo u pálených cihel.

Získané výsledky byly následně doplněny o výpočet směrodatné odchylky, která slouží k posouzení rozptýlenosti jednotlivých měření. U pálené cihly byla směrodatná odchylka zaokrouhlených 14 N, což svědčí o vysoké konzistenci vzorků a homogenitě struktury prvku. Naopak u pórobetonu byla odchylka výrazně vyšší (cca 718 N), což poukazuje na větší rozdíly ve struktuře daného materiálu. Tento rozdíl podtrhuje fakt, že pálené cihly vykazují nejen vyšší pevnost, ale také vyšší předvídatelnost chování při tlakovém zatížení. Tato vlastnost je při projektování bezpečnosti konstrukcí zásadní výhodou.

Tabulka 9 Průměrná hodnota síly FH a směrodatná odchylka při tlakové zkoušce

| Materiál | Průměrná FH [N] | Směrodatná odchylka [N] |
|----------|-----------------|-------------------------|
| Cihla    | 49023,0         | 13,7                    |
| Ytong    | 29918,5         | 717,5                   |

(Zdroj: Vlastní zpracování)



Obrázek 20 Graf tlakové odolnosti materiálu

(Zdroj: Vlastní záznam)

Získané výsledky jasně ukazují, že z hlediska odolnosti vůči tlaku (potenciálnímu násilnému vniknutí), je pálená cihla podstatně odolnějším materiálem. Při výběru materiálu je nutné ovšem brát v potaz i jiné vlastnosti materiálu, jako je například tepelná vodivost, hmotnost atd. Z hlediska pasivní bezpečnosti, potažmo odolnosti materiálu vůči tlaku, jsou pálené cihly mnohem vhodnější volbou, jak pórobetonové tvárnice.

## 7.4 Ohybová zkouška pro starou pálenou cihlu

Při ohybové zkoušce starých pálených cihel bylo zajímavé pozorování výrazných rozdílů, které panovaly mezi jednotlivými vzorky. Tyto velké rozdíly byly pozorovány zejména v hodnotách maximální síly (FH), při kterých dochází k porušení struktury materiálu.



Obrázek 21 Zkouška ohybem – Stará pálená cihla

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

Naměřené hodnoty se pohybovaly v rozmezích 12 984 až 26 789 N. Toto značí velmi velkou rozptýlenost výsledků (13 805 N), která může být způsobena právě stářím pálených cihel. Průměrná síla potřebná k porušení struktury vzorku byla přibližně 18 776 N.

Tabulka 10 Zkouška na ohyb pro starou pálenou cihlu

| Zkouška na ohyb – STARÁ CIHLA |         |                        |       |         |
|-------------------------------|---------|------------------------|-------|---------|
| Pořadí                        | FH[N]   | RH[N/mm <sup>2</sup> ] | AH[%] | dLH[mm] |
| 1                             | 20525,1 | 2,1                    | 6,8   | 3,2     |
| 2                             | 15049,2 | 1,5                    | 4,3   | 2,0     |
| 3                             | 18273,1 | 1,8                    | 3,5   | 1,6     |
| 4                             | 16497,6 | 1,7                    | 3,4   | 1,6     |
| 5                             | 26789,2 | 2,7                    | 4,5   | 2,1     |
| 6                             | 18409,7 | 1,8                    | 2,8   | 1,4     |
| 7                             | 12984,2 | 1,3                    | 3,8   | 1,8     |
| 8                             | 15234,7 | 1,5                    | 4,9   | 2,4     |
| 9                             | 22783,4 | 2,3                    | 6,0   | 2,9     |
| 10                            | 21212,6 | 2,1                    | 4,7   | 2,3     |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Z výsledků je zřejmé, že stará pálená cihla si i přes své stáří relativně zachovala své dobré mechanické vlastnosti z hlediska pevnosti v ohybu prvku. Rozdílnost výsledků může být způsobena jak rozdíly v kvalitě výroby v době jejího vzniku nebo také postupnou degradací materiálu v průběhu času.

#### Statistické vyhodnocení ohybové zkoušky staré pálené cihly:

- Průměrná hodnota maximální síly (FH): 18 776 N
- Rozptyl (min – max): 13 805 N

### 7.5 Ohybová zkouška pro novou pálenou cihlu

U nové pálené cihly byly při zkoušce ohybem zaznamenány hodnoty maximální síly (FH) v rozmezí 15 141 až 23 968 N. Toto zjištění poukazuje na stabilní a předvídatelné chování materiálu, stejně jako u zkoušky tlakem. Průměrná síla potřebná k porušení struktury vzorku byla vypočítána na 19 885 N, což je vyšší hodnota než u staré pálené cihly. Toto zjištění potvrzuje předpoklad, že nově vyrobené stavební prvky mají díky modernější a kvalitnější výrobě lepší a konzistentní mechanické vlastnosti (rozptyl hodnot maximální síly 8 827 N), které mohou být klíčové z hlediska pasivní bezpečnosti budov.



Obrázek 22 Zkouška ohybem – Nová pálená cihla

(Zdroj: Vlastní záznam)

Deformační údaje se u nové cihly pohybovaly v rozmezích 2,04 až 2,98 mm, což ukazuje podobnou míru pružnosti a křehkosti, jako u starých pálených cihel. Dále lze z naměřených dat vyvodit, že se odpor materiálu vůči ohybovému zatížení je velmi spolehlivý a opět konzistentní. Ve výsledku je nová pálená cihla mnohem vhodnějším stavebním prvkem díky moderním výrobním technologiím, které jí zaručují spolehlivost, předvídatelnost a vyšší odolnost jak při prvcích starých pálených cihel.

Tabulka 11 Zkouška na ohyb pro novou pálenou cihlu

| Zkouška na ohyb – NOVÁ CIHLA |         |                        |       |         |
|------------------------------|---------|------------------------|-------|---------|
| Pořadí                       | FH[N]   | RH[N/mm <sup>2</sup> ] | AH[%] | dLH[mm] |
| 1                            | 16975,7 | 1,7                    | 6,0   | 3,0     |
| 2                            | 22777,4 | 2,3                    | 4,3   | 2,1     |
| 3                            | 16485,5 | 1,7                    | 5,9   | 2,9     |
| 4                            | 15140,8 | 1,5                    | 4,3   | 2,1     |
| 5                            | 23967,8 | 2,4                    | 5,4   | 2,7     |
| 6                            | 23605,2 | 2,4                    | 5,1   | 2,5     |
| 7                            | 22792,5 | 2,3                    | 5,3   | 2,6     |
| 8                            | 19908,0 | 2,0                    | 6,1   | 3,0     |
| 9                            | 19746,7 | 2,0                    | 4,6   | 2,2     |
| 10                           | 17450,0 | 1,8                    | 4,2   | 2,0     |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

**Statistické vyhodnocení ohybové zkoušky nové pálené cihly:**

- Průměrná hodnota maximální síly (FH): 19 885 N
- Rozptyl (min – max): 8 827 N

**7.6 Ohybová zkouška pro pórobetonovou tvárnici (Ytong)**

Při testování vzorků z pórobetonu značky Ytong byly naměřeny výrazně nižší hodnoty maximální síly (FH) oproti páleným cihlám. Naměřené maximální síly (FH) před deformací materiálu se pohybovaly v rozmezí 5 125 až 6 899 N (průměrná hodnota 6 087 N). Tyto výsledky jasně poukazují na fakt, že pórovitá struktura Ytongových tvárnic je zásadním důvodem nižší mechanické odolnosti vůči ohybovému zatížení. Z hlediska deformačních údajů (dLH) dosahoval Ytong vyšších hodnot než pálené cihly. Konkrétní průměrná hodnota byla vypočtena na 7,34 mm oproti páleným cihlám, kde mají Ytongové vzorky lepší hodnoty o 4,9 mm. Toto zjištění lze opět vyvodit z pórovitého materiálu, který nemá sice takovou pevnost a odolnost, ale dokáže mnohem lépe snášet deformační síly.

Z těchto zjištěných výsledků lze odvodit závěr, že v ohybových zkouškách je Ytong náchylnější na destrukci při nižším zatížení, ale dokáže mnohem lépe snášet pružnost. Toto je vhodné zejména pro konstrukce budov, kde může docházet k výraznému ohybovému namáhání. Je ovšem vhodné tento stavební prvek doplnit dalšími konstrukčními opatřeními.

Tabulka 12 Zkouška na ohyb pro Ytong

| Zkouška na ohyb – YTONG |        |                        |       |         |
|-------------------------|--------|------------------------|-------|---------|
| Pořadí                  | FH[N]  | RH[N/mm <sup>2</sup> ] | AH[%] | dLH[mm] |
| 1                       | 6068,9 | 0,6                    | 9,5   | 4,5     |
| 2                       | 5787,9 | 0,6                    | 16,1  | 7,9     |
| 3                       | 5650,0 | 0,6                    | 11,7  | 5,6     |
| 4                       | 5124,8 | 0,5                    | 15,9  | 7,5     |
| 5                       | 6368,7 | 0,6                    | 17,8  | 8,3     |
| 6                       | 6461,5 | 0,7                    | 21,1  | 9,5     |
| 7                       | 6899,2 | 0,7                    | 17,8  | 7,9     |
| 8                       | 6779,8 | 0,7                    | 16,9  | 8,2     |
| 9                       | 6199,4 | 0,6                    | 15,1  | 7,4     |
| 10                      | 5531,1 | 0,6                    | 15,0  | 7,2     |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

**Statistické vyhodnocení ohybové zkoušky pórobetonu značky Ytong:**

- Průměrná hodnota maximální síly (FH): 6 087 N
- Rozptyl (min – max): 1 774 N

**7.7 Porovnání výsledků ohybové zkoušky**

Při ohybové zkoušce byly testovány tři stavební prvky, které se velmi často vyskytují v současných stavbách. Testovány byly prvky: stará pálená cihla, nová pálená cihla, pórobeton značky Ytong. Hlavním sledovaným parametrem byla stanovena maximální síla (FH), při které docházelo k prasknutí struktury zkoumaného vzorku.

Z výsledků zmíněných v práci výše je jasné, že nejvyšší průměrné hodnoty maximální síly dosahovala nová pálená cihla s průměrnými hodnotami 19 885 N. Tento materiál vykazoval bezkonkurenčně nejlepší mechanické vlastnosti z hlediska zkoumané pevnosti v ohybu. Následovala stará pálená cihla, u které hodnoty dosahovaly nižších průměrných dat, ačkoli některé vzorky vykazovaly vyšší hodnoty. Zde byla průměrná hodnota maximální síly potřebné k porušení struktury vzorku staré pálené cihly vypočtena na 18 776 N. Nicméně větší rozptyl mezi hodnotami a nižší průměrná hodnota síly naznačují možnou degradaci materiálu v důsledku jejich stáří. Nejnižší hodnoty dosáhnul pórobeton značky Ytong, který měl průměrné hodnoty maximální síly (FH) vypočten na 6 087 N. Tento výsledek odpovídá předpokladu a zjištěné rešerši, která poukazovala na strukturu a vlastnosti pórobetonu.

Z hlediska deformace (dLH) pak Ytong ukazoval nejvyšší míru průhybu před jeho samotným porušením, která často dosahovala hodnoty 7 mm. U obou pálených cihel se hodnoty pohybovaly v rozmezí 2–3 mm, což znamená, že Ytong je v tomto ohledu vhodnějším materiálem. Snese sice menší zatížení, ale umožňuje větší průhyb před samotnou deformací, což je jeho možnou výhodou.

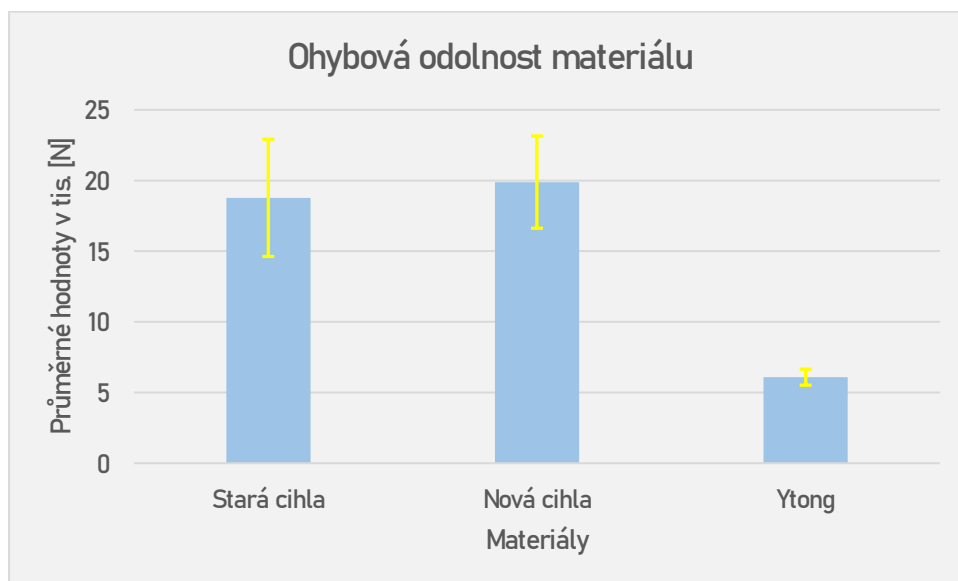
Pro záměry zajištění objektivního posouzení byly krom průměrných hodnot opět vypočítány směrodatné odchylky, které opět vypovídají o míře rozptylu dat. Nová pálená cihla vykazovala v celku vysokou hodnotu směrodatné odchylky (cca 3 263 N). Ještě hůř na tom byla stará pálená cihla, která vykazovala hodnoty o něco vyšší (cca 4 148 N). Toto potvrzuje různé vlastnosti obou pálených cihel, které mohou být způsobeny například stářím prvku. Ytong, i přes svou nejnižší pevnost, vykázal nejnižší směrodatnou odchylku (cca 566

N). Toto zjištění svědčí o dobré vnitřní struktuře a rovnoměrném rozložení vlastností napříč všemi vzorky.

Tabulka 13 Průměrná hodnota síly FH a směrodatná odchylka při ohybové zkoušce

| Materiál    | Průměrná hodnota FH [N] | Směrodatná odchylka [N] |
|-------------|-------------------------|-------------------------|
| Stará cihla | 18775,9                 | 4147,5                  |
| Nová cihla  | 19885,0                 | 3262,7                  |
| Ytong       | 6087,1                  | 566,4                   |

(Zdroj: Vlastní zpracování)



Obrázek 23 Graf ohybové odolnosti materiálu

(Zdroj: Vlastní záznam)

Výsledky tak poukazují na fakt, že z hlediska pevnosti v ohybu je nejvhodnějším prvek nová pálená cihla díky své nejvyšší odolnosti materiálu. Pórobeton značky Ytong poté následně vyniká rovnoměrnou deformací a pružností materiálu, ačkoliv je jeho pevnost nejnižší ze všech testovaných prvků. Stará pálená cihla následně představuje jakýsi kompromis mezi těmito prvky, ovšem za cenu vyšší rozdílnosti výsledků.

## 7.8 Zkouška úderu kladivem

Další provedenou zkouškou byla zkouška úderu kladivem, která byla zaměřena na praktické ověření mechanické odolnosti jednotlivých prvků vůči dynamickému zatížení. Tento vybraný způsob zkoušky simuluje běžné případy násilného vniknutí do budovy skrze stěny.

Pro testování byla použita kovová palice s váhou 8,5 kg společně dřevěnou rukojetí, která disponovala délkou 72,5 cm. Všechny údery byly prováděny obouruč, čímž bylo docíleno vyšší kontroly nad samotným úderem a intenzitou švihů.



Obrázek 24 Použitá palice v testování

(Zdroj: Vlastní záznam)

Z důvodu objektivního posouzení výsledků byla zavedena pětistupňová škála síly úderu, která zohledňuje dynamiku švihů a charakteristiku náprahu. Tato škála je podrobně popsána v následující tabulce, ze které se následně vycházelo v posuzování veškerých testovaných vzorků.

Tabulka 14 Stupnice pro sílu úderu kladivem

| Stupnice pro sílu úderu kladivem |                  |                                    |                                 |
|----------------------------------|------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Stupeň síly                      | Popis síly úderu | Charakteristika náprahu            | Poznámka                        |
| 1                                | Velmi slabý úder | Krátký náprah, kontrolovaný dopad  | Nepoškodit prvek                |
| 2                                | Slabý úder       | Mírný švih, kontrolovaný dopad     | Testování prvotní odolnosti     |
| 3                                | Střední úder     | Průměrný švih                      | Simuluje běžný útok             |
| 4                                | Silný úder       | Plný náprah s výrazným švihem      | Test strukturální odolnosti     |
| 5                                | maximální úder   | Maximální náprah, švih celým tělem | Způsobení maximálního poškození |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Při samotném testování byly všechny prvky umístěné na vyvýšenou plochu, která byla sestavena z palet. Tímto bylo dosaženo lepší pracovní výšky, která simulovala možnou výšku úderu při útoku na stěnu. Následně byl každý testovaný vzorek podložen cihlami, které zajistili minimalizaci možného doteku s paletou či tření mezi palicí a paletou, ke kterému by mohlo dojít vinou nepřesného úderu. Za každý testovaný prvek byla také umístěna pevná opora, která zabraňovala nežádoucímu posunutí při nárazu, čímž by mohly

vznikat velké nepřesnosti v testování (počet úderů do rozlomení). Každý stavební prvek byl poté testován tolika úderů, dokud nedošlo k trvalému mechanickému poškození prvku (rozlomení).

## 7.9 Zkouška úderu kladivem pro starou pálenou cihlu

Při zkoušce starých pálených cihel bylo pozorováno jejich poměrně snadné mechanické poškození již při slabším úderu. U většiny testovaných vzorků (4 z 5) došlo k poškození již při prvním úderu, a to pouze při použití síly ve stanoveném stupni 2. Tyto výsledky ukazují na relativně nízkou odolnost zkoumaného materiálu vůči dynamickému zatížení. Vzhledem k výsledkům z předchozích zkoušek (tlakové a ohybové), kde stará pálená cihla působila vcelku pevně, bylo překvapivé sledovat, že k jejímu rozlomení nebyla potřeba větší síla. Toto může naznačovat, že je materiál citlivější na dynamické namáhání než na statické zatížení.

Tabulka 15 Zkouška úderu kladivem pro starou cihlu

| Zkouška úderu kladivem – STARÁ CIHLA |                          |            |
|--------------------------------------|--------------------------|------------|
| Vzorek č.                            | Počet úderů do poškození | Síla úderu |
| 1                                    | 1                        | 2          |
| 2                                    | 1                        | 2          |
| 3                                    | 1                        | 2          |
| 4                                    | 2                        | 3          |
| 5                                    | 1                        | 2          |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Dalším zajímavým poznatkem bylo sledování samotného lomu staré pálené cihly. K prasknutí docházelo velice nepravidelně, kdy se jednotlivé ulomené kusy nelámaly v přímé linii, ale byly spíše nepravidelné. Toto může naznačovat nehomogenitu materiálu, což může být způsobeno jak samotným stářím materiálu, tak samotným procesem výroby ve své době. Ve výsledku lze konstatovat, že staré pálené cihly vykazují velmi nízkou odolnost vůči dynamickému zatížení a z hlediska pasivní bezpečnosti nemohou plnohodnotně odolávat přímým úderům těžkých nástrojů.



Obrázek 25 Výsledné rozlomení staré pálené cihly

(Zdroj: Vlastní záznam)

### 7.10 Zkouška úderu kladivem pro novou pálenou cihlu

Nové pálené cihly prokázaly vyšší mechanickou odolnost než staré pálené cihly. Všechny testované vzorky potřebovaly pro jejich rozlomení úder silou stupně 3, přičemž některé vzorky odolávaly více než jednomu úderu. Jeden vzorek se dokonce rozlomil až po 3. úderu, což naznačuje mnohem lepší schopnost v absorpci rázového namáhání. V průměru ovšem bylo potřeba 1–2 zásahů, což v porovnání se starými pálenými cihlami prokazuje výrazné zlepšení pevnostních vlastností.

Tabulka 16 Zkouška úderu kladivem pro novou cihlu

| Zkouška úderu kladivem – NOVÁ CIHLA |                          |            |
|-------------------------------------|--------------------------|------------|
| Vzorek č.                           | Počet úderů do poškození | Síla úderu |
| 1                                   | 1                        | 3          |
| 2                                   | 3                        | 3          |
| 3                                   | 1                        | 3          |
| 4                                   | 2                        | 3          |
| 5                                   | 1                        | 3          |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Z hlediska chování z hlediska samotného porušení se nová pálená cihla chovala velmi odlišně. Všechny vzorky se lámaly rovně a velmi pravidelně, bez vzniku jakýchkoliv nepravidelných zlomových linií. Lom byl ve většině případů souměrný, což může dokazovat lepší homogenitu materiálu a tím i lepší výrobní proces. Toto dokazuje také to, že nové pálené cihly mají mnohem konzistentnější fyzikální vlastnosti.



Obrázek 26 Výsledné rozlomení nové pálené cihly

*(Zdroj: Vlastní záznam)*

Na základě získaných výsledků lze konstatovat, že nová pálená cihla má výrazně lepší předpoklady k odolávání mechanického namáhání než její starší varianty. Z hlediska pasivní bezpečnosti představují tyto nové pálené cihly vhodnější volbu v případech, kdy se předpokládají pokusy násilného vniknutí.

### 7.11 Zkouška úderu kladivem pro pálenou keramickou cihlu

Keramická pálená cihla se při zkoušce úderu kladivem jevila jako nejméně odolný testovaný materiál. Všechny testované prvky již po prvním úderu ztratily své mechanické vlastnosti i přes to, že byla vyvíjena pouze síla stupně 2. Rozdílem oproti jiným testovaným prvkům je i fakt, že nebylo nikdy potřebné udeřit do prvku vícekrát či použít větší sílu. Toto jednoznačně poukazuje na velmi nízkou odolnost vůči rázovému namáhání.

Tabulka 17 Zkouška úderu kladivem pro keramickou cihlu

| Zkouška úderu kladivem – KERAMICKÁ CIHLA |                          |            |
|------------------------------------------|--------------------------|------------|
| Vzorek č.                                | Počet úderů do poškození | Síla úderu |
| 1                                        | 1                        | 2          |
| 2                                        | 1                        | 2          |
| 3                                        | 1                        | 2          |
| 4                                        | 1                        | 2          |
| 5                                        | 1                        | 2          |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Dalším velmi zajímavým zjištěním bylo, že se prvek začal tříštit. Tyto ulomené části byly nepravidelného tvaru, ostré s výraznými hranami. Toto dokáže svědčit právě o nízké soudržnosti struktury materiálu, čímž je způsobena jeho vysoká křehkost. Tento charakter porušení může být v praxi nevýhodný, protože keramická cihla ztrácí okamžitě svou celistvost hned po prvním úderu.



Obrázek 27 Výsledné rozlomení keramické pálené cihly

(Zdroj: Vlastní záznam)

Na základě získaných poznatků lze velmi přesvědčivě konstatovat, že keramická pálená cihla je z hlediska odolnosti vůči násilnému vniknutí nejméně vhodným materiálem, který byl podroben testování. Její nízká pevnost, křehkost a tendence ke štěpení ji činí velmi snadno překonatelnou s použitím relativně malé síly.

## 7.12 Zkouška úderu kladivem pro pórobetonovou tvárnici (Ytong)

Pórobetonová tvárnice značky Ytong vykazovala během zkoušky úderu kladivem překvapivě vysokou odolnost vůči mechanickému namáhání. Z předchozích zkoušek (ohybem a tlakem) byla pórobetonová tvárnice považována za mnohem křehčí prvek, než je cihla. Při úderech kladivem se projevil jako výrazněji houževnatější a odolnější prvek, než je pálená cihla.

Tabulka 18 Zkouška úderu kladivem pro pórobeton (Ytong)

| Zkouška úderu kladivem – YTONG |                          |            |
|--------------------------------|--------------------------|------------|
| Vzorek č.                      | Počet úderů do poškození | Síla úderu |
| 1                              | 4                        | 4          |
| 2                              | 3                        | 4          |
| 3                              | 2                        | 5          |
| 4                              | 1                        | 5          |
| 5                              | 2                        | 5          |

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Ve většině případů bylo potřebné použít sílu ve stupni 4 nebo 5 a několikrát úder dokonce i zopakovat. U některých vzorků došlo k porušení struktury až na 3. nebo 4. pokus, přičemž úder byly vedeny téměř plnou silou. Velmi specifické chování materiálu bylo také to, že při úderu se pórobeton lehce zdeformoval (promáčknul se v místě úderu), přičemž neprasknul a ani se nerozpadnul. Toto chování lze odvodit z jeho pórovité struktury, která tomuto prvku propůjčuje do jisté míry pružnost při krátkodobém dynamickém zatížení.



Obrázek 28 Výsledné rozlomení pórobetonu (Ytongu)

(Zdroj: Vlastní záznam)

Ve srovnání s ostatními testovanými materiály bylo překvapivé, jak vysoké množství energie muselo být použito k jeho trvalé destrukci. Tyto výsledky dokazují, že pórobeton, ačkoliv se z laboratorních testů jeví jako křehký materiál, je v praxi při dynamickém zatížení velmi odolným materiálem díky jeho vlastnostem. Toto z něj tvoří solidní materiál, který by dokázal pomoci z hlediska pasivní bezpečnosti proti násilnému vniknutí.

### 7.13 Porovnání výsledků zkoušky úderu kladivem

Při porovnání výsledků jednotlivých testovaných prvků lze pozorovat, že mezi jednotlivými prvky panují výrazné rozdíly v odolnosti materiálu vůči dynamickému zatížení způsobeného úderem palicí. Všechny zkoušky byly provedeny jednotným způsobem za použití palice o hmotnosti 8,5 kg, přičemž byly úder prováděny s různou intenzitou a silou. Ke kategorizaci těchto intenzit byla sestavena tabulka se stupni 1-5, kde byla tato škála zavedena převážně za účelem standardizace použité síly při zachování stejného způsobu náprahu oběma rukama.

Nejnižší odolnost vůči úderu palicí vykazovala keramická cihla, která byla vždy rozlomena po prvním úderu za použití malé síly ve stupni 2. Tento typ prvku se při zatížení štípal a rozpadal do drobných a ostrých úlomků bez náznaku jakékoliv plastické deformace. V praxi by tento prvek neodolal pokusu o násilné vniknutí.

Stará pálená cihla vykazovala mírně lepší odolnost, protože k jejímu poškození bylo potřeba 1 až 2 úderů při použití síly ve stupni 2-3. Překvapivým zjištěním také bylo, že i přes relativně dobré výsledky z laboratorních zkoušek, nebyla její odolnost proti nárazům palicí tak vysoká, jak bylo předpokládáno. Zlomy byly velmi nerovnoměrné společně se vzniklými „zuby“, čímž byla dokázána křehkost a nepravidelná struktura daného prvku.

Opakem ke staré pálené cihle byla pálená cihla nová, která ve zkoušce úderu kladivem prokázala vcelku vysokou odolnost. K jejímu rozlomení bylo zpravidla potřeba využití vyšší síly (stupeň 3) a vícero úderů. Jednotlivé vzorky poté praskaly rovnoměrně bez vzniklých „zubů“, čímž byla prokázána velmi dobrá homogenita struktury materiálu. Díky tomuto prvek dokázal lépe odolávat dynamickému nárazu.

Největším překvapením byl pórobetonový prvek značky Ytong. Tento prvek překvapil svou nejlepší odolností vůči nárazu palicí, ačkoliv se v předchozích laboratorních testech jevil jako nejméně odolným materiálem. Vyžadoval totiž úder s nejvyšší intenzitou úderu (stupeň 4-5) a často muselo dojít k opakování úderů. Materiál se častokrát po úderu jen mírně

deformoval bez vzniku trhlin. Toto zjištění lze přičíst jeho pórovité struktuře, která zřejmě dobře absorbuje energii nárazu. Tato schopnost dokazuje, že pórobeton může při dynamickém nárazu nabídnout velmi vysokou míru pasivní bezpečnosti, než se běžně očekává.

Z provedeného testování vyplývá, že nejmenší odpor proti dynamické zkoušce nárazu palicí vykazovaly keramické a staré pálené cihly, zatímco nejlepších výsledků dosáhl pórobeton s novými pálenými cihlami.

## 8 DISKUZE ZÍSKANÝCH VÝSLEDKŮ

Cílem této bakalářské práce bylo zjistit, jaké mechanické vlastnosti mají různé druhy stavebních prvků, na které je vyvíjen tlak, ohyb či rázové zatížení a následně vyhodnotit jejich vhodnost použití pro stavby z hlediska pasivní bezpečnosti budov. Výsledné zjištění v rámci testování prokázalo, že se každý materiál chová velmi odlišně, zásadně dle typu zatížení, dle jeho fyzikálních vlastností či dokonce stáří daného prvku.

Při tlakových zkouškách vykázaly nejlepší výsledky pálené cihly, u kterých došlo k deformaci vždy při téměř maximální síle blížíící se limitu stroje (okolo 49 000 N). Pórobeton v těchto zkouškách dosahoval výrazně nižších hodnot, které se pohybovaly nejčastěji v rozmezí 28 000 – 31 000 N. Výsledky laboratorního testování tak odpovídají očekávání, že je pálená cihla hutnějším a kompaktnějším materiálem, což vede k vyšší odolnosti na tlakové zatížení oproti pórobetonu. Přesto výsledný rozdíl těchto dvou prvků nebyl tak výrazný, jak se na první pohled očekávalo.

Při ohybové zkoušce se situace mírně změnila. Nižší odolnost vůči ohybu vykázal opět pórobeton (maximální hodnota cca 6 900 N), avšak zde začal projevovat rozdílný charakter materiálu. Zde bylo pozorováno rovnoměrné a postupné deformace vzorků, přičemž bylo dosaženo velmi konzistentních výsledků. Stará cihla se na druhou stranu chovala velmi nevyzpytatelně, protože se její hodnoty při prasknutí značně lišily a lomy byly nepravidelné. Nová pálená cihla byla naopak velmi stabilní, lámala se rovně a vykazovala průměrnou pevnost, která byla o něco vyšší než u staré pálené cihly. Toto odráží právě kvalitnější výrobu, která má za výsledek lepší homogenitu struktury.

Nejpřekvapivější závěry přinesla zkouška úderu kladivem. Zatímco v laboratorních podmínkách působil pórobeton jako nejkřehčí prvek, tak při rázovém namáhání působil jako prvek nejodolnější. Vyžadoval opakované údery kladivem při intenzitě úderu ve stupni 4-5, přičemž často docházelo k pouhé mírné deformaci materiálu v místě úderu bez jakéhokoliv naprasknutí. Tato vlastnost lze s určitostí přičíst pórovité struktuře, která dokáže velmi dobře absorbovat rázovou energii. Keramické cihla měla naopak nejnižší odolnost. Materiál selhal vždy při prvním úderu, a to i při použití mírné síly. Toto zjištění potvrzuje její výraznou křehkost a nízkou houževnatost. Z pálených cihel vyšla hůře stará cihla, která měla o něco horší vlastnosti jako cihla nová. Toto bylo zapříčiněno stářím a rozdílným postupem výroby daného stavebního prvku.

Velmi důležitým výstupem tedy je, že různé materiály dokážou odolávat různým typům zatížení. Tímto zjištěním nelze určit, který prvek je „nejlepší“. Ve výsledné volbě prvku by měla být stanovena konkrétní situace a typ očekávaného mechanického působení, díky které bude stavební prvek vhodně zvolen. Pórobeton je vhodný zejména tam, kde se předpokládá krátkodobé nárazové zatížení, a naopak pro statické zatížení už tak vhodným materiálem není, a vhodnější je volba pálené cihly. Keramická cihla by poté naopak neměla být volena tam, kde by mohla čelit přímým úderům, protože její odolnost v tomto směru je značně nedostatečná. Z vykonaných testů je taky patrné, že moderní materiály s homogenní strukturou jsou mnohem předvídatelnější a jsou lepší variantou pro návrhy bezpečnostních opatření.

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést analýzu vybraných stavebních materiálů z hlediska jejich mechanické odolnosti vůči násilnému vniknutí, a tím přispět k hlubšímu pochopení významu pasivní bezpečnosti budov. Pro testování byly zvoleny čtyři běžně používané typy zdiva, stará pálená cihla, nová pálená cihla, keramická cihla, pórobeton, které byly vystaveny různým typům mechanických zkoušek. Tyto zkoušky byly realizovány především s cílem simulovat zátěžové situace, ke kterým může při pokusu o násilné vniknutí dojít.

Ze získaných výsledků vyplývá, že nejlépe ze všech zkoušek vyšla nová pálená cihla, která se z hlediska pevnosti v tlaku ukázala jako nejodolnější materiál. Tato vysoká pevnost byla potvrzena i v ohybové zkoušce, kde nová pálená cihla dosahovala nejvyšších hodnot síly potřebné k jejímu zničení a zároveň vykazovala nízkou směrodatnou odchylku. Naproti tomuto prvku stál pórobeton, který se v laboratorních zkouškách jevil jako nejméně odolný prvek, ať už se jednalo o tlakovou či ohybovou zkoušku. Zcela opačný výsledek přinesla zkouška úderu kladivem, která měla za cíl simulaci rázové situace z reálného prostředí. V této zkoušce se naopak pórobeton překvapivě stal nejodolnějším materiálem, protože dokázal snést několik velmi silných úderů, než se rozlomil. Dále bylo také vyzorováno, že se jeho struktura deformovala spíše postupně než po pouhém jediném úderu. Tento výsledek poukázal zejména na důležitost kombinace vícero typů testů, protože laboratorní podmínky nemusí vždy plně odrážet podmínky reálné.

Ze všech získaných výsledků nelze určit jednoznačně stavební prvek, který je nejvhodnější pro všechny testované situace. Každý z testovaných prvků vykazoval jiné vlastnosti, které by měly být klíčové pro samotný výběr prvku pro výstavbu. Mělo by pak být hlavně zohledněn konkrétní účel prvku, předpokládaný typ ohrožení stavby a úroveň pasivní bezpečnosti budovy.

V neposlední řadě se také ukázalo, jak je důležité do návrhu stavebních konstrukcí zapojit nejen běžně sledované parametry, ale také mechanické vlastnosti (odolnost vůči vnějším silám) jednotlivých prvků. Získané výsledky tak mohou sloužit jako podkladový materiál pro projektanty, výrobce stavebních materiálů a bezpečnostní specialisty v následném zvažování výběru vhodného konstrukčního prvku. Do budoucna by bylo také možné rozšířit získané poznatky v navazující diplomové práci, která by mohla být zaměřena na testování celých úseků zdiva, jednotlivé spojovací materiály, systém skladby prvků, simulaci skutečných zatěžovacích scénářů nebo také začlenění otvorových výplní. Těmito

rozšířeními by bylo možné vytvořit komplexnější doporučení pro praxi v oblasti návrhu stavebních konstrukcí.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FISCHER, Tomáš. *Architektura – Vybrané kapitoly z dějin*. 2. vydání. 2015. Dostupné také z: [http://dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/architektura/P9\\_%20Architektura.pdf](http://dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/architektura/P9_%20Architektura.pdf). [cit. 2025-01-05].
- [2] TRUNEČEK, Josef; CHAROUZD, Miloslav a ULLRICH, Karel. *Základy stavitelství: učebnice pro 4. roč. stř. odb. škol*. Praha: Geodetický a kartogr. podnik, 1988. ISBN (Váz.):.
- [3] SOUČEK, Vladimír. *Vnitřní bezpečnost a veřejný pořádek*. Praha, 2005. Dostupné také z: <https://mv.gov.cz/soubor/bezpecnost-pdf.aspx>. [cit. 2025-01-05].
- [4] *Hrozba*. Online. Ministerstvo vnitra České republiky. 2003. Dostupné z: <https://mv.gov.cz/clanek/hrozba>. [cit. 2025-01-05].
- [5] *Riziko*. Online. Ministerstvo vnitra České republiky. 2003. Dostupné z: <https://mv.gov.cz/clanek/riziko.aspx>. [cit. 2025-01-05].
- [6] *Analýza rizik*. Brno, 2013. Dostupné také z: [www.vut.cz/www\\_base/priloha.php?dpid=74652](http://www.vut.cz/www_base/priloha.php?dpid=74652). [cit. 2025-01-05].
- [7] *A simple guide to building security*. Online. SafetyCulture. 2024. Dostupné z: <https://safetyculture.com/topics/building-security/>. [cit. 2025-01-05].
- [8] *ChatGPT*. Online. 2024. Dostupné z: <https://chatgpt.com/>. [cit. 2025-01-05].
- [9] KINDL, Jiří. *Projektování bezpečnostních systémů I.díl*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2004 ISBN 80-7318-165-7.
- [10] *Aktivum*. Online. Saxo. © 2025. Dostupné z: <https://www.home.saxo/cs-cz/content/glossary/asset>. [cit. 2025-01-05].
- [11] LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management I*. Zlín: VeRBuM, 2011. ISBN 978-80-87500-05-7.
- [12] LAUCKÝ, Vladimír. *Technologie komerční bezpečnosti I*. Učební texty vysokých škol. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2003. ISBN 80-7318-119-3.
- [13] IVANKA, Ján. *Mechanické zábranné systémy*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2010. ISBN 978-80-7318-910-5.

- [14] UHLÁŘ, Jan. *Technická ochrana objektů*. Praha: Vydavatelství PA ČR, 2006. ISBN 80-725-1235-8.
- [15] LUKÁŠ, Luděk. *Bezpečnostní technologie, systémy a management V*. Teorie a praxe ochrany majetku a fyzické bezpečnosti. Zlín: Radim Bačuvčík – VeRBuM, 2015. ISBN 978-80-87500-67-5.
- [16] HELCLOVÁ, Barbora. *Ochrana a zabezpečení majetku v soukromých obydlích*. Online, Bakalářská práce, vedoucí prof. Ing. Rudolf Urban, CSc. Kolín: Ambis vysoká škola, a.s., 2021. Dostupné z: [https://is.ambis.cz/th/dzpn8/Bakalarska\\_prace\\_Barbora\\_Helclova.pdf](https://is.ambis.cz/th/dzpn8/Bakalarska_prace_Barbora_Helclova.pdf). [cit. 2025-01-05].
- [17] *Bezpečnostní dveře*. Online. In: Servis MR CZ s. r. o. © 2025. Dostupné z: <http://www.servismr.com/nabidka/dvere.gif>. [cit. 2025-05-25].
- [18] *Konstrukce okna*. Online. In: 4WINDOW. © 2025. Dostupné z: <https://www.4window.cz/user/articles/images/casti-plastoveho-okna.png>. [cit. 2025-05-25].
- [19] *Bezpečnostní okenní fólie*. Online. In: Folie MT. © 2025. Dostupné z: <https://www.folie-mt.cz/upload/reference/web/02.jpg>. [cit. 2025-05-25].
- [20] *Okenní mříže*. Online. In: Kovářství Mittner. © 2025. Dostupné z: <https://www.kovarstvi-mittner.cz/galerie/mrize/57a.jpg>. [cit. 2025-05-25].
- [21] KYNCL, Jaromír. *Bezpečnost objektu ve světle moderních technologií*. Praha: Komora podniků komerční bezpečnosti České republiky, 2014. ISBN 978-80-260-7115-0.
- [22] *Jak vybrat zadlabací zámek*. Online. Kování kliky. © 2025. Dostupné z: <https://www.kovani-kliky.cz/uzitecne-rady/jak-vybrat-zadlabaci-zamek/>. [cit. 2025-01-05].
- [23] *Vnější popis zadlabacího zámku*. Online. In: Zámečnictví Famíkl. © 2025. Dostupné z: <https://www.famikl.cz/grafika/jak-vymenit-zamek-do-dveri/zadlabaci-zamek.jpg>. [cit. 2025-05-25].
- [24] *Vnitřní popis zadlabacího zámku*. Online. In: NOVELO. © 2025. Dostupné z: <https://www.novelobrno.cz/upload/image/ZADLABACI-ZAMEK-FAB-MECHANICKY-popis.jpg>. [cit. 2025-05-25].

- [25] SVOBODA, Luboš. *Stavební hmoty*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Bratislava: Jaga, 2007. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [26] *Zákon č. 22/1997 Sb.* Online. *Zákony pro lidi*. 1997. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-22>. [cit. 2025-01-05].
- [27] *Nařízení vlády č. 163/2002 Sb.* Online. *Zákony pro lidi*. 2002. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-163>. [cit. 2025-01-05].
- [28] *Zákon č. 283/2021 Sb.* Online. *Zákony pro lidi*. 2024. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-283>. [cit. 2025-01-05].
- [29] MARTINÁK, Milan. *Kontrola a měření pro 3. ročník středních průmyslových škol strojnických*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. ISBN 80-03-00103-X.
- [30] ŠULC, Jan. *Technologická a strojnická měření pro SPŠ strojnické*. 3. vyd. oprav. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1986.
- [31] *Měření průlomové odolnosti mechanických zábranných systémů*. Online, Diplomová práce, vedoucí Ing. Ján Ivanka. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2008. Dostupné z: [https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/5569/chaloupka\\_2008\\_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/5569/chaloupka_2008_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [cit. 2025-05-06].
- [32] *Elektromechanické zkušební stroje LabTest 6.30 a 6.50*. Online. LABORTECH. 2017. Dostupné z: <https://www.labortech.cz/wp-content/uploads/2018/10/LabTest-6.30.1-6.50.1-v1.0-2017.pdf>. [cit. 2025-05-06].

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 1 Bezpečnostní dveře.....                                           | 23 |
| Obrázek 2 Konstrukce okna.....                                              | 25 |
| Obrázek 3 Poškozené okno s bezpečnostní fólií.....                          | 26 |
| Obrázek 4 Okenní mříže .....                                                | 27 |
| Obrázek 5 Vnější popis zadlabacího zámku .....                              | 28 |
| Obrázek 6 Vnitřní popis zadlabacího zámku .....                             | 29 |
| Obrázek 7 Graf průběhu tlakové zkoušky.....                                 | 44 |
| Obrázek 8 Zkouška pevnosti v tlaku.....                                     | 45 |
| Obrázek 9 Graf průběhu ohybové zkoušky.....                                 | 46 |
| Obrázek 10 Zkouška pevnosti v ohybu.....                                    | 46 |
| Obrázek 11 Zkušební zařízení LabTest 6.50 .....                             | 48 |
| Obrázek 12 Vzdálenost podpěrných válečků.....                               | 49 |
| Obrázek 13 Zkušební vzorky ve velikostech 5×5 cm a 10×10 cm .....           | 50 |
| Obrázek 14 Zkušební vzorky pálené cihly o rozměrech 70×70×70 mm .....       | 51 |
| Obrázek 15 Zkušební vzorky Ytongu a pálené cihly ve stejných rozměrech..... | 51 |
| Obrázek 16 Zkušební vzorky Ytongu v rozměrech 290×140×65 mm.....            | 52 |
| Obrázek 17 Použité nástroje pro úpravu velikosti Ytongu .....               | 53 |
| Obrázek 18 Prasknutí pálené cihly při zkoušce tlakem .....                  | 54 |
| Obrázek 19 Prasknutí pórobetonu při zkoušce tlakem.....                     | 56 |
| Obrázek 20 Graf tlakové odolnosti materiálu .....                           | 58 |
| Obrázek 21 Zkouška ohybem – Stará pálená cihla .....                        | 59 |
| Obrázek 22 Zkouška ohybem – Nová pálená cihla.....                          | 61 |
| Obrázek 23 Graf ohybové odolnosti materiálu .....                           | 64 |
| Obrázek 24 Použitá palice v testování .....                                 | 65 |
| Obrázek 25 Výsledné rozlomení staré pálené cihly.....                       | 67 |
| Obrázek 26 Výsledné rozlomení nové pálené cihly.....                        | 68 |
| Obrázek 27 Výsledné rozlomení keramické pálené cihly.....                   | 69 |
| Obrázek 28 Výsledné rozlomení pórobetonu (Ytongu).....                      | 70 |

## SEZNAM TABULEK

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabulka 1 Možná chráněná aktiva firmy .....                                         | 18 |
| Tabulka 2 Možná chráněná aktiva domácnosti.....                                     | 19 |
| Tabulka 3 Vývoj stavebních prvků.....                                               | 31 |
| Tabulka 4 Technické vlastnosti hornin.....                                          | 33 |
| Tabulka 5 Třídy pevností dřeva dle normy ČSN EN 338.....                            | 35 |
| Tabulka 6 Pevnostní třídy tlaku pórobetonu podle ČSN EN 12602.....                  | 40 |
| Tabulka 7 Tlaková zkouška pro novou pálenou cihlu .....                             | 55 |
| Tabulka 8 Tlaková zkouška pro Ytong.....                                            | 57 |
| Tabulka 9 Průměrná hodnota síly FH a směrodatná odchylka při tlakové zkoušce .....  | 58 |
| Tabulka 10 Zkouška na ohyb pro starou pálenou cihlu .....                           | 60 |
| Tabulka 11 Zkouška na ohyb pro novou pálenou cihlu.....                             | 61 |
| Tabulka 12 Zkouška na ohyb pro Ytong .....                                          | 62 |
| Tabulka 13 Průměrná hodnota síly FH a směrodatná odchylka při ohybové zkoušce ..... | 64 |
| Tabulka 14 Stupnice pro sílu úderu kladivem .....                                   | 65 |
| Tabulka 15 Zkouška úderu kladivem pro starou cihlu .....                            | 66 |
| Tabulka 16 Zkouška úderu kladivem pro novou cihlu .....                             | 67 |
| Tabulka 17 Zkouška úderu kladivem pro keramickou cihlu .....                        | 69 |
| Tabulka 18 Zkouška úderu kladivem pro pórobeton (Ytong) .....                       | 70 |

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

|       |                                            |
|-------|--------------------------------------------|
| AH    | Relativní prodloužení                      |
| Atd.  | A tak dále                                 |
| Cca   | cirka                                      |
| dLH   | Délka prodloužení při maximální síle       |
| FH    | Maximální síla                             |
| kN    | kiloNewton                                 |
| mm    | milimetr                                   |
| N     | Newton                                     |
| Např  | Například                                  |
| Popř. | Popřípadě                                  |
| PZTS  | Poplachové zabezpečovací a tísňové systémy |
| tzv.  | Takzvaná                                   |
| viz   | odkaz                                      |
| W     | Watt                                       |