



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Zděné konstrukce historické a novodobé, analýza vzorků pevnosti jednotlivých bloků, segmentů se simulací drážky a jejich vyhodnocení

Fakulta aplikovaných věd
Katedra mechaniky
Navrhování a provádění budov

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta aplikovaných věd
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Marie KUPKOVÁ**
Osobní číslo: **A20N0119P**
Studijní program: **N0732P260002 Stavební inženýrství – Moderní budovy**
Specializace: **Navrhování a provádění budov**
Téma práce: **Zděné konstrukce historické a novodobé, analýza vzorků pevnosti jednotlivých bloků, segmentů se simulací drážky a jejich vyhodnocení**
Zadávající katedra: **Katedra mechaniky**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte textové části dle zadání práce s obecným popisem a rozбором zděných konstrukcí a to po stránce návrhové tak po stránce konstrukční a to historických a novodobých se statickým schématem zatížení a řešením vnitřních sil s následným určením jejich použití v konstrukčních systémech.
2. Zpracujte a připravte modely zdíciho systému (jednotlivé bloky či segmenty zdiva, stěny z modelové podobnosti) pro zátěžové zkoušky dle jednotlivých sad a dle ČSN na testování materiálových charakteristik s únosností řešeného zdiva, materiálu zdiva a to v sadách dle vzorků na dané testovací zařízení jako experimentální část práce.
3. Zpracujte a vyhodnoťte testovací vzorky z modelové podobnosti pomocí základních tabulek únosnosti, jejich vhodnosti či nevhodnosti s určením pevnosti daného materiálu pro používání v konstrukčních systémech.

Rozsah diplomové práce: **úvodní část 50 až 60 stran A4**
Rozsah grafických prací: **práce skládající se z výkresů, schémat a textových částí a s experimentem**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

1. ČSN EN 1990 – Zásady navrhování stavebních konstrukcí.
2. ČSN EN 1991 – Zatížení stavebních konstrukcí.
3. ČSN EN 1996 – Navrhování zděných konstrukcí.
4. Navrhování zděných konstrukcí. ČKAIT, 2009.
5. Frick / Knoll – Stavební konstrukce I. a II. JAGA 2005

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Kesl, Ph.D.**
Katedra mechaniky

Datum zadání diplomové práce: **18. října 2021**
Termín odevzdání diplomové práce: **31. května 2022**

Doc. Ing. Miloš Železný, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Vimmr, Ph.D.
vedoucí katedry

Čestné prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma „Zděné konstrukce historické a novodobé, analýza vzorků pevnosti jednotlivých bloků, segmentů se simulací drážky a jejich vyhodnocení“ zpracovala samostatně pod odborným dohledem vedoucího práce pana Ing. Petra Kesla, Ph.D.. K jejímu vypracování bylo využito vlastních znalostí a veřejně dostupných zdrojů, které jsou v závěru práce citovány.

V Plzni dne

.....

Bc. Marie Kupková

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Petru Keslovi, Ph.D. za odborné vedení a debaty nad dotčenou problematikou. Velké poděkování za vstřícnost, ochotu a poskytnutí materiálu pro provedení praktické části bych ráda věnovala zaměstnancům firmy Xella CZ, s.r.o. v Chlumčanech Liboru Lisýmu a Ing. Radku Sazamovi. Dále chci poděkovat Ing. Janu Krystkovi, Ph.D. za ochotu při samotném experimentu a zpřístupnění laboratoře na pracovišti NTIS a Ing. Janu Kubátovi, Ph.D. za jeho čas věnovaný konzultacím nad touto prací.

V neposlední řadě mé poděkování patří Ing. Vlastimilu Pavlečkovi za odbornou i morální podporu a přátelům za neocenitelnou výpomoc.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá zděnými konstrukcemi historickými a novodobími. Teoretická část řeší technologie zdění dříve a dnes, postupný vývoji materiálů a popisuje vývoj zásad navrhování zdiva. Rozebírá vlastnosti moderních staviv a věnuje se také možnému směřování zděných konstrukcí v budoucnu.

Praktická část je vyhrazena zkoumání statického působení drážek na modelové zdivo z pórobetonu ve zmenšeném měřítku 1:5. Zvoleným typem zkoušeného zdiva byla stěna nosná tloušťky 300 mm a příčka tloušťky 150 mm. Cílem experimentální části bylo nejen srovnání únosností oslabených modelových stěn různými drážkami, ale také přiblížení chování zdiva během zatížení.

Zkoumané drážky byly zvoleny ve směru svislém, vodorovném a šikmém pod úhlem 12°. Vzhledem k předpokládanému největšímu vlivu vodorovné drážky na únosnost zdiva, byl tento typ zkoušen v 5 různých provedeních. Vliv svislé a šikmé drážky byl zkoumán pouze pro jednu hloubku. Od každého typu stěny byly vyzděny dva vzorky. S referenčními stěnami bylo celkem navrženo 28 vzorků.

V průběhu experimentu byl tento počet snížen na 16 vzorků, a to z důvodu velmi obtížné manipulace s modelovými stěnami příčkového zdiva, které bylo ze zkoušení vyřazeno. Validní výsledné hodnoty byly zpracovány graficky a výsledná únosnost plné stěny byla porovnána s teoretickým výpočtem dle ČSN EN 1996-1-1.

V přílohové části je umístěna fotodokumentace jednotlivých vzorků během přípravy i zatěžování a vyhodnocení nevhodných vzorků.

Klíčová slova

zdivo, zděné konstrukce, historie zdění, cihla, kámen, vápenopísek, pórobeton, vazba zdiva, moderní zdění, tvárnice, vlastnosti zdiva, technologie zdění, Ytong, drážky, navrhování zdiva, zkoušky zdiva

Abstract

The diploma thesis deals with historical and modern masonry constructions. The theoretical part deals with masonry technology in the past and today, the gradual development of materials and describes the development of masonry design principles. It analyzes the characteristics of modern constructions and also addresses the possible direction of brick structures in the future.

The practical part is devoted to the investigation of the static effect of grooves on model masonry made of aerated concrete in a reduced scale of 1:5. The chosen type of tested masonry was a load-bearing wall with a thickness of 300 mm and a partition with a thickness of 150 mm. The aim of the experimental part was not only to compare the bearing capacity of weakened model walls with different grooves, but also to approximate the behavior of the masonry during loading.

The investigated grooves were selected in the vertical, horizontal and oblique directions at an angle of 12°. Due to the assumed greatest influence of the horizontal groove on the load-bearing capacity of the masonry, this type was tested in 5 different designs. The effect of vertical and slanted groove was investigated for only one depth. Two samples were bricked from each type of wall. A total of 28 samples were designed inclusive reference walls.

During the experiment, this number was reduced to 16 samples, due to the very difficult handling of the model walls of the partition masonry, which was excluded from the testing. The valid resulting values were processed graphically and the resulting bearing capacity of the full wall was compared with the theoretical calculation according to ČSN EN 1996-1-1.

Photo documentation of individual samples during preparation and loading and evaluation of unsuitable samples is located in the appendix.

Keywords

masonry, masonry structures, history of masonry, brick, stone, limestone, aerated concrete, masonry bond, modern masonry, blocks, masonry properties, masonry technology, Ytong, grooves, masonry design, masonry tests

Obsah

Úvod	16
Cíle a metodika práce	17
Teoretická část.....	18
1. Historický vývoj zděných konstrukcí	18
1.1. Počátky stavění	19
1.2. Středověk	32
1.3. Novověk	37
1.4. Moderní doba	40
2. Současnost	44
2.1. Pálené a nepálené zdící prvky.....	45
2.2. Vápenopískové zdící prvky.....	49
2.3. Betonové tvárnice.....	50
2.4. Pórobetonové tvárnice.....	52
2.5. Kámen.....	54
3. Tendence a trendy ve vývoji zdiva.....	55
4. Charakteristiky dnešního zdiva.....	57
4.1. Mechanické vlastnosti	57
4.2. Fyzikální vlastnosti	59
5. Technologie zdění.....	61
6. Vývoj zásad navrhování zdiva	66
Praktická část.....	69
7. Zkušební vzorky	70
8. Pracovní pomůcky.....	73
9. Postup experimentu	76
9.1. Příprava experimentu	76
9.2. Realizace stěn.....	78
9.3. Realizace drážek.....	79
9.4. Zatěžování vzorků	81
9.5. Výsledky měření.....	82
10. Porovnání únosnosti vzorku plné stěny s výpočtem dle EC6.....	95
11. Závěr.....	99
Citovaná literatura a internetové zdroje	102
Použitý software	110
Přílohová část	i

Seznam obrázků

Obr. 1: Vývoj konstrukčních systémů ve vazbě na používané materiály – křivky představují minimalizaci hmoty se zvětšujícím se rozpětím [1]	18
Obr. 2: Naleziště lidských a zvířecích hrobů v kamenném domě [2]	19
Obr. 3: Kamenné hradby a spodní část věže města Jericho vybudované	20
Obr. 4: Tvary nejstarších dochovaných nepálených cihel z oblasti města Jericho [5] ..	20
Obr. 5: Pozůstatky vesnice Skara Brae ve Skotsku [8]	21
Obr. 6: Zobrazení lva na lštařině bráně Babylonu z původních glazovaných cihel – vystaveno v Pergamonském muzeu v Berlíně [12]	23
Obr. 7: Klenba lípaná – Magasin [9]	23
Obr. 8: Klenba přečnělková – zikkurat Ur [13]	23
Obr. 9: Velký zikkurat v Uru, nynějším Iráku [15]	24
Obr. 10: Tvary pálené krytiny s širokými prejzy (a) lakónský, (b) sicilský, (c) korintský [11]	25
Obr. 11: Lví brána v kyklopském zdivu Mykénského opevnění [18]	26
Obr. 12: Chrám Hefaisteion v Athénách [22]	27
Obr. 13: Chrám Parthenon v Athénách [22]	27
Obr. 14: Džosérova stupňovitá pyramida v Sakkáře [28]	28
Obr. 15: Chrám Luxor ze starověkých Théb cca 1400 př. n. l. [30]	29
Obr. 16: Římské zdivo (a) opus incertum (smíšené zdivo dekorativní s litým jádrem), (b) opus reticulatum (jehlanové cihly s úhlopříčnou vazbou), (c) opus testaceum (cihly kladeny na plocho ve vazbě), (d) opus mixtum (smíšené zdivo) [31]	30
Obr. 17: Technický řez konstrukcí Pantheonu v Římě [33]	31
Obr. 18: Rotunda sv. Petra a Pavla, Budeč [35]	33
Obr. 19: Goticko-románský hrad Loket z lomového kamene ze 13. století [fotka autora]	35
Obr. 20: Skica opěrného systému chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře z roku 1388 [39] ..	36
Obr. 21: Goticko-renesanční kostel sv. Petra a Pavla v Kralovicích [42]	38
Obr. 22: Konstrukce kupole stavby Santa Maria del Fiore ve Florencii [1]	38
Obr. 23: Stroj na výrobu cihel z Washingtonu D.C. [3]	40
Obr. 24: Kruhová Hoffmannova pec [3]	40
Obr. 25: První vápenopísková stavba u nás – kostel Nejsvětější Trojice v Mešně [48] ..	41
Obr. 26: Detail zdobného zdiva na stavbě Templeton's Carpet Factory v Glasgow [49]	42
Obr. 27: Příklady používaných zdících prvků na našem území [51]	43
Obr. 28: Znázornění vývoje cihelných výrobku v průběhu nedávné minulosti [58]	46

Obr. 29: Příklady dostupných cihelných výrobků plněných izolantem na trhu [62]	47
Obr. 30: Nepálená hliněná cihla od firmy Heluz [63]	48
Obr. 31: Průběh jeřábové výstavby z vápenopískových bloků [65]	49
Obr. 32: Zleva hutný lehký beton, mezerovitý lehký beton, pěnobeton a pórobeton [68]	50
Obr. 33: Příklady keramzitbetonových tvárnic [69] [70].....	51
Obr. 34: Příklad realizace z pěnobetonových tvárnic Staleform [72]	51
Obr. 35: Výrobky BS Group s.r.o. Klatovy, zleva cihla velká z liaporbetonu pevnosti P3 a cihla malá z hutného betonu pevnosti P10 [fotka autora].....	52
Obr. 36: Lehčené tvárnice BS Group s.r.o. Klatovy bez a s integrovaným zateplením z EPS [74].....	52
Obr. 37: Autoklávové pece [76]	53
Obr. 38: Příklady pórobetonových výrobků na trhu, zleva šedá pórobetonová nosná tvárnice z popílku s kapsami, bílá tvárnice pro příčky, U profil pro překlady a věnce [75].....	54
Obr. 39: Příklady kameniva pro gabionové stěny (a) čedič, (b) andezit, (c) žula kulatá, (d) žula kostky, (e) křemenec [78]	55
Obr. 40: Poloautomatický zednický robot od společnosti Construction Robotics [82]...57	
Obr. 41: Porovnání laboratorní a stavební vzduchové neprůzvučnosti vybraných stavebních materiálů pro mezibytové stěny v dB [86]	61
Obr. 42: Vliv výškové úrovně zdění na produktivitu práce – 1 křivka produktivity, 2 výška zdiva [87].....	62
Obr. 43: Znázornění přenosu zatížení ve zdivu [88]	63
Obr. 44: Příklady tradičně užívaných cihelných vazeb (a) vazáková, (b) běhounová, (c) polokřížová, (d) křížová, (e) gotická (polská), (f) holandská [88]	63
Obr. 45: Příklady zahraničních vazeb (a) americká, (b) anglická, (c) mnišská, (d) vlámská, (e) dvojité anglická [44] [89].....	64
Obr. 46: Příklady vazeb kamenného zdiva (a) z lomového kamene, (b) řádkové, (c) řádkové haklíkové, (d) kyklopské, (e) kvádrové [90]	65
Obr. 47: Detaily řešení dilatačních spár [91]	66
Obr. 48: Postup výpočtu stavebních konstrukcí dle metody mezních stavů [1]	68
Obr. 49: Grafické znázornění vzorků stěn typu N ₁₋₈ v měřítku 1:5	73
Obr. 50: Elektrická pásová pila Ytong.....	73
Obr. 51: Bednění sestavené pro snazší držení roviny zdiva	74
Obr. 52: Ruční náradí a pomůcky použité při zdění vzorků.....	74
Obr. 53: Ruční náradí a pomůcky použité při drážkování vzorků	75
Obr. 54: Zatěžovací ocelová kostka o rozměru 170x170x46 mm váhy 11 kg	75

Obr. 55: Zatěžovací lis Zwick/Roell Z050	76
Obr. 56: Připravené stavivo v laboratoři Fakulty aplikovaných věd na ZČU v Plzni.....	77
Obr. 57: Průběh řezání tvárnice	77
Obr. 58: Použité pojivo ke zdění.....	77
Obr. 59: Celoplošné nanášení tenkovrstvé malty Ytong FIX N103	78
Obr. 60: Kontrola podélného sklonu a rovinnosti horní hrany zdiva	78
Obr. 61: Dokončený nezbroušený vzorek N ₁₁	79
Obr. 62: Označení vzorku stěny	79
Obr. 63: Vyznačení svislé drážky na vzorku stěny N ₂₁ s hloubkou a šířkou drážky 26mm.....	80
Obr. 64: Frézování svislé drážky vzorku stěny N ₂₁ s hloubkou a šířkou drážky 26mm.	80
Obr. 65: Příklad kontrolního měření znázorněn na stěně N ₇₂ s hloubkou vodorovné drážky 30 mm a šířkou 20 mm (rozměry zaokrouhleny)	81
Obr. 66: Zkušební laboratoř v budově Nové technologie pro informační společnost (NTIS) na ZČU v Plzni.....	81
Obr. 67: Sekvence snímků během zatížení vzorku N ₁₂	82
Obr. 68: Průběh zatížení stěny N ₁₁ – porušená oblast soustředěným tlakem	91
Obr. 69: Porušení stěny N ₇₂ – boční pohled	92
Obr. 70: Porušení stěny N ₇₂ – pohled na rub stěny.....	92
Obr. 71: Stěny se soustředěným zatížením dle EC6	98
Obr. 72: Zatížený vzorek N ₁₁ líc.....	i
Obr. 73: Zatížený vzorek N ₁₁ rub	i
Obr. 74: Zatížený vzorek N _{12_0} bok Obr. 75: Zatížený vzorek N _{12_0} detail.....	ii
Obr. 76: Zatížený vzorek N ₁₂ bok	ii
Obr. 77: Zatížený vzorek N ₁₂ líc.....	iii
Obr. 78: Zatížený vzorek N ₁₂ rub	iii
Obr. 79: Zatížený vzorek N ₂₁ bok Obr. 80: Zatížený vzorek N ₂₁ rub	iv
Obr. 81: Zatížený vzorek N ₂₁ líc.....	iv
Obr. 82: Zatížený vzorek N ₂₂ bok Obr. 83: Zatížený vzorek N ₂₂ rub	v
Obr. 84: Zatížený vzorek N ₂₂ líc.....	v
Obr. 85: Zatížený vzorek N ₃₁ bok Obr. 86: Zatížený vzorek N ₃₁ líc.....	vi
Obr. 87: Zatížený vzorek N ₃₁ rub	vi
Obr. 88: Zatížený vzorek N ₃₂ bok Obr. 89: Zatížený vzorek N ₃₂ rub	vii
Obr. 90: Zatížený vzorek N ₃₂ líc.....	vii
Obr. 91: Zatížený vzorek N ₄₁ bok Obrázek 92: Zatížený vzorek N ₄₁ líc	viii
Obr. 93: Zatížený vzorek N ₄₂ líc Obrázek 94: Zatížený vzorek N ₄₂ rub.....	viii
Obr. 95: Zatížený vzorek N ₅₁ bok Obrázek 96: Zatížený vzorek N ₅₁ rub.....	ix

Obr. 97: Zatížený vzorek N ₅₁ líc.....	ix
Obr. 98: Zatížený vzorek N ₅₂ bok Obr. 99: Zatížený vzorek N ₅₂ rub	x
Obrázek 100: Zatížený vzorek N ₅₂ líc	x
Obrázek 101: Zatížený vzorek N ₆₁ bok Obr. 102: Zatížený vzorek N ₆₁ líc.....	xi
Obr. 103: Zatížený vzorek N ₆₁ rub	xi
Obr. 104: Zatížený vzorek N ₆₂ bok Obr. 105: Zatížený vzorek N ₆₂ rub.....	xii
Obr. 106: Zatížený vzorek N ₆₂ líc.....	xii
Obr. 107: Zatížený vzorek N ₇₁ bok Obrázek 108: Zatížený vzorek N ₇₁	xiii
Obr. 109: Zatížený vzorek N ₇₂ bok Obr. 110: Zatížený vzorek N ₇₂ líc	xiii
Obr. 111: Zatížený vzorek N ₇₂ rub	xiv
Obr. 112: Zatížený vzorek N ₈₁ bok Obr. 113: Zatížený vzorek N ₈₁	xiv
Obr. 114: Zatížený vzorek N ₈₂ bok Obr. 115: Zatížený vzorek N ₈₂	xv

Seznam tabulek

Tab. 1: Výpočtová pevnost v tlaku vybraných stavebních materiálů v MPa [autor]	59
Tab. 2: Modul pružnosti vybraných stavebních materiálů v MPa [autor]	59
Tab. 3: Objemová hmotnost vybraných stavebních materiálů v kg/m ³ [autor]	60
Tab. 4: Součinitel tepelné vodivosti vybraných stavebních materiálů v W/m*K [autor] ..	60
Tab. 5: Doporučené vodorovné vzdálenosti mezi svislými dilatačními spárami dle EC6	65
Tab. 6: Dovolené rozměry svislých drážek bez nutnosti ověření stanovené EC6	69
Tab. 7: Dovolené rozměry vodorovných a šikmých drážek bez nutnosti ověření stanovené EC6.....	70
Tab. 8: Geometrické vlastnosti zkoušených vzorků	71
Tab. 9: Přehled rozměrů vzorků stěn, jejich maximální přenesené síly a průměrné hodnoty získaných dat.....	94
Tab. 10: Naměřené parametry zkušebních vzorků tvárnic v měřítku 1:5.....	95
Tab. 11: Součinitel tvaru δ vyjadřující vliv rozměrů zkušebního vzorku.....	96
Tab. 12: Součinitel K pro výpočet charakteristické pevnosti zdiva	97
Tab. 13: Součinitel γ_M pro výpočet návrhové pevnosti zdiva	97

Seznam grafů

Graf 1: Trend ve vývoji součinitele prostupu tepla v nedávné minulosti [62]	48
Graf 2: Pracovní diagram zdiva namáhaného tlakem – 1) skutečný, 2) idealizovaný, 3) návrhový [84].....	58
Graf 3: Zatížení stěny N_{11} – plná stěna (referenční) vzorek první	84
Graf 4: Zatížení stěny N_{12} – plná stěna (referenční) vzorek druhý	84
Graf 5: Zatížení stěny N_{21} – svislá drážka hloubky a šířky 26 mm vzorek první	85
Graf 6: Zatížení stěny N_{22} – svislá drážka hloubky a šířky 26 mm vzorek druhý	85
Graf 7: Zatížení stěny N_{32} – šikmá drážka hloubky a šířky 20 mm vzorek druhý.....	86
Graf 8: Zatížení stěny N_{41} – vodorovná drážka hloubky 3 mm a šířky 20 mm vzorek první.....	87
<i>Graf 9: Zatížení stěny N_{42} – vodorovná drážka hloubky 3 mm a šířky 20 mm vzorek druhý.....</i>	<i>87</i>
Graf 10: Zatížení stěny N_{51} – vodorovná drážka hloubky 10 mm a šířky 20 mm vzorek první.....	88
Graf 11: Zatížení stěny N_{52} – vodorovná drážka hloubky 10 mm a šířky 20 mm vzorek druhý.....	88
Graf 12: Zatížení stěny N_{71} – vodorovná drážka hloubky 30 mm a šířky 20 mm vzorek první.....	89
Graf 13: Zatížení stěny N_{72} – vodorovná drážka hloubky 30 mm a šířky 20 mm vzorek druhý.....	89
Graf 14: Zatížení stěny N_{81} – vodorovná drážka hloubky 40 mm a šířky 20 mm vzorek první.....	90
Graf 15: Zatížení stěny N_{82} – vodorovná drážka hloubky 40 mm a šířky 20 mm vzorek druhý.....	90
Graf 16: Grafické znázornění poklesu únosnosti stěny se zvětšující se hloubkou vodorovné drážky	94
Graf 17: Zatížení stěny N_{12} – plná stěna (referenční) vzorek první	xvi
Graf 18: Zatížení stěny N_{31} – šikmá drážka hloubky a šířky 20 mm vzorek první.....	xvi
Graf 19: Zatížení stěny N_{61} – vodorovná drážka hloubky a šířky 20 mm vzorek první xvii	xvii
Graf 20: Zatížení stěny N_{62} – vodorovná drážka hloubky a šířky 20 mm vzorek druhý	xvii

Seznam příloh

Příloha A: Fotodokumentace zatěžování jednotlivých vzorkůi

Příloha B: Únosnost vzorků vyřazených z výsledného hodnocení experimentu..... xvi

Úvod

Zdivo provází lidskou historii téměř od počátku. Bylo rozšířeno s příchodem osídlování úrodných oblastí a s počátky zemědělství. Z nejstarších staveb a jejich trosek lze odvodit tehdejší dostupnost stavebních materiálů v různých částech světa a vyspělost obyvatel. S nárůstem populace a potřebou objevovat lze pozorovat rozšiřování stavebních výrobků nebo samotných stavebních technologií. Jako základním stavivem se na našem území stal kámen, oproti tomu v písčitéch oblastech bylo zapotřebí využít dostupných surovin, tedy hlíny z oblastí toků a jezer. Lidská vynalézavost tak dala vzniknout druhému nejstaršímu stavivu, cihle.

Přes 10 tisíc let byly tyto materiály jediným používaným zdícím prvkem zachovávající si svou podobu. Až s průmyslovou revolucí přišly zásadní změny ovlivňující veškeré hospodářství. V průběhu následujících 2 století prošlo zdivo tehdy těžko uvěřitelnými změnami, vznikly nové materiály, nové technologie výroby a zpřísnování požadavků na spotřebu energie žene vývoj stále kupředu.

Podrobně se tomuto vývoji zdících prvků věnuje teoretická část diplomové práce. V praktické části jsem se zaměřila na problematiku provádění drážek do nosných zděných konstrukcí. Aktuálně platná norma ČSN EN 1996-1-1 (Eurokód 6) stanovuje dovolené drážkování bez nutnosti statického posouzení zdiva. Často se ale v praxi u jednoduchých staveb setkáváme s prováděním hlubších i delších drážek bez ověření výpočtem. Tato myšlenka mě přivedla k experimentálnímu zjišťování vlivu oslabení průřezu stěny na její únosnost. Zkoušky byly prováděny na modelech stěn v měřítku 1:5. Nejvíce vzorků bylo zaměřeno na vodorovné drážky vzhledem k významnému vlivu na únosnost. S přihlédnutím ke vhodnosti materiálu byly ke zkoušení zvoleny pórobetonové tvárnice.

Cíle a metodika práce

Zděné stavby tvoří drtivou většinu zastavěné krajiny a představují časovou mapu předešlých stavitelů. Text má proto především seznámit širší veřejnost s počátky stavění, vývojem zdiva a materiálů s ohledem na historické souvislosti, představit technologie současnosti a nastítnit předpokládaný vývoj dle dosavadních tendencí. Téma jsem si vybrala právě kvůli historické hodnotě těchto konstrukcí a poměrně nedávnému progresivnímu vývoji v oblasti zdění. Zdící prvky drží krok s dobou a vyvíjí se stále nová provedení s vylepšenými vlastnostmi. Tedy ani po 12 tisících letech se tento druh stavění nechystá do ústraní, ale spíše vzkvétá.

Teoretická část je zpracována metodou rešerše z dostupné literatury, norem, prospektů výrobců, exkurze a webových článků. Z těchto pramenů byly shromážděny validní informace a zpracovány do uceleného textu.

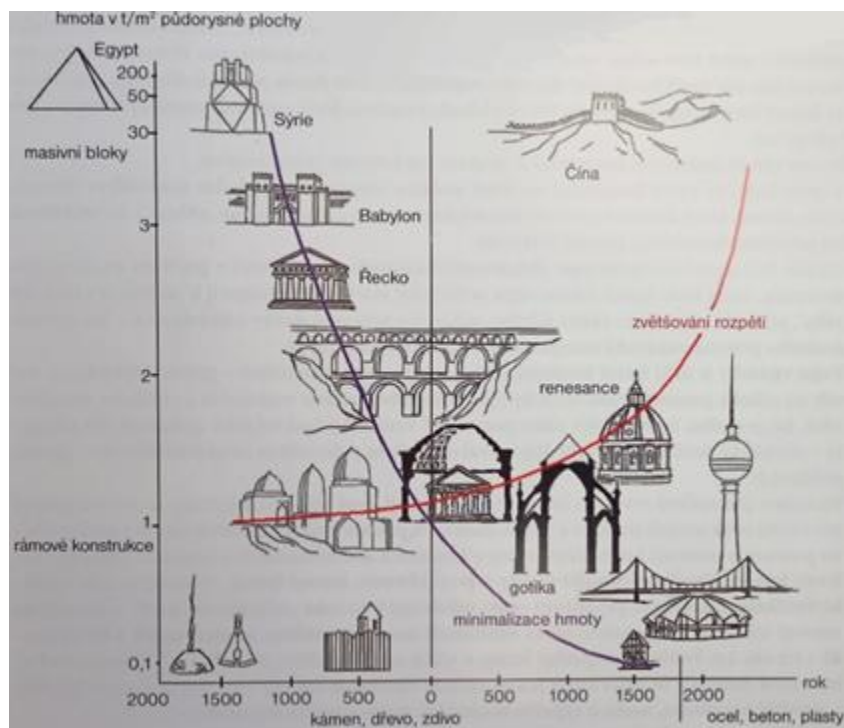
Praktická část je založena na experimentálním šetření v laboratorních podmínkách. V první fázi byly pórobetonové tvárnice rozřezány na malé tvárnice v měřítku 1:5. Poté nastalo lepení maltou pro tenké spáry do podoby stěny o 11 řadách tvárníc a do těchto stěn se frézovaly drážky různých úhlů a hloubek. Takto připravené stěny se zatěžovaly na zkušebním lisu. Cílem praktické části je zjištění vlivu drážek na únosnost pórobetonové stěny a zhodnocení proveditelnosti samotného pokusu.

Teoretická část

1. Historický vývoj zděných konstrukcí

Na utváření krajiny se podílíme tisíce let. Od jednoduchých přístřešků po rozsáhlé komplexy stavitelé využívali dostupných a známých možností k vytvoření staveb splňujících dobové požadavky. Ty se spolu s vývojem civilizací měnily. Výstavbu ovlivňuje i mnoho dalších faktorů, jako dostupnost materiálů, technická pokročilost, pracovní síla, finance a něco, co lze nazvat kulturní náladou. Díky dochovaným stavbám nebo záznamům o nich lze poměrně přesně určit kulturní situaci a preferované požadavky na stavby jednotlivých společností. Od monumentálních zádušních staveb, chrámů, katedrál, přes hrady a zámky jsme se i díky objevení nových materiálů posunuly k subtilním a čistě účelným výškovým stavbám.

Zděné konstrukce provázejí lidskou historii od počátku stavění do dnes. Jejich využití a vzhled se v průběhu času měnili a právě technologické možnosti a kulturní hodnoty udávaly a udávají směr dalšího vývoje.



Obr. 1: Vývoj konstrukčních systémů ve vazbě na používané materiály – křivky představují minimalizaci hmoty se zvětšujícím se rozpětím [1]

1.1. Počátky stavění

Starší doba kamenná

Počátky stavění trvale osídlených objektů ze zděných konstrukcí lze dle dosavadních archeologických průzkumů datovat až do období 10 000 let př. n. l. Jedná se o naleziště Tell Qaramel v nynější Sýrii. Byly zde nalezeny kamenné stěny nejstarších věží a domů vystavěných do kruhových i obdélníkových půdorysů. Na stavby bylo využito různorodé stavivo od jílu, bahnitě malty a malty smíchané s různě velikým neopracovaným kamenivem. [2]



Obr. 2: Naleziště lidských a zvířecích hrobů v kamenném domě [2]

Mladší doba kamenná

Díky dostatku jílu a slunných měsíců v oblasti Blízkého východu se postupně od kamenných a dřevěných materiálů postoupilo k utváření nového staviva, cihly. Výrobek, který oproti kamenům lze jednoduše tvarovat, barvit a snadněji se s ním pracuje při zdění.

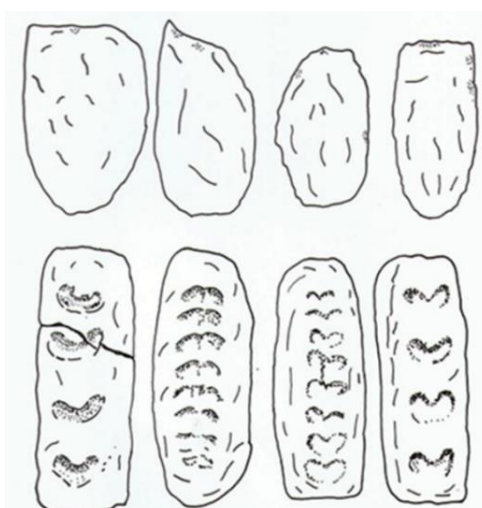
Známým nalezištěm zatím nejstarších dochovaných cihel je západní břeh řeky Jordán, především pak město Jericho. Byly zde objeveny ručně formované cihly z dob 8300 až 7600 př. n. l. připomínající svým tvarem bochníky chleba. Vznikaly ručním hnětením hlíny/jílu a vody a následným sušením na slunci. Jedná se sice o první zaznamenané nepálené cihly, ale skutečně první využití sušeného hliněného staviva se předpokládá i o tisíce let dříve. Maltu tvořila v podstatě řídká směs ze stejných materiálů rozdílného poměru. Z doby rozkvětu města, kdy jeho

rozloha činila 40 000 m², se také dochovaly nejstarší známé hliněné hradby obložené kamenem a 8,5 m vysoká kamenná věž. [3]



Obr. 3: Kamenné hradby a spodní část věže města Jericho vybudované asi 8350 př. n. l. [4]

Další typ nepálených cihel nalezený v této oblasti je z doby 7300 až 6600 let př. n. l.. Jedná se o prakticky stejný postup výroby, ale liší se především rozměry a vzhledem. Zatímco starší byly menší zhruba o velikosti 260x100x100 mm novější typy se pohybovaly kolem 400x150x100 mm. Dále byla do měkkých cihel prsty vtisknuta struktura tzv. fishbone (rybí kost). A zatím co v době, kdy na Blízkém východu vznikaly první sídla, Evropané se stále ukládali ke spánku v jeskyni. [5]



Obr. 4: Tvary nejstarších dochovaných nepálených cihel z oblasti města Jericho [5]

Vhodné podmínky pro osídlení a rozvoj trvalých staveb spojených s počátky zemědělství a chovem domácích zvířat v Evropě přišly zhruba o 2000 až 4000 let později. Příkladem dokazující pozdější rozvoj je kamenná vesnice Skara Brae ve Skotsku nebo komplex Mnajdra na ostrově Malta. Skara Brae byla vybudována kolem roku 3180 př. n. l. a nachází se v ní několik domů postavených z neopracovaného kamenného zdiva kladeného na sucho. [6] [7]



Obr. 5: Pozůstatky vesnice Skara Brae ve Skotsku [8]

V počátcích stavění nehledě na místo se pro výstavbu vždy používaly především místní přírodní materiály jako dřevo, kámen, hlína, kosti nebo jiné části zvířat. [7]

Mezopotámie

Stejně jako řeka Jordán poskytovala hostinné podmínky pro usazení obyvatel, začala prosperovat i oblast podél řek Eufrat a Tigris. Malé osady a obchodní křižovatky se postupně od 7. tisíciletí př. n. l. stávaly rozlehlými městy s hradbami a obřadními a palácovými stavbami. [9] [1]

Tehdejší oblast Mezopotámie je významným nalezištěm dokazujícím přítomnost několika kultur v průběhu tisíce let od Sumerské po Novobabylonskou říši. V městech vznikaly stavby běžných domů, škol, knihoven, ale i paláce prvních panovníků, chrámy, mosty a akvadukty. Nejdostupnějším materiálem byl rákos a hlína, dřevo používané nejčastěji na překlady a stropní konstrukce muselo být dováženo stejně jako kámen. Dále se ve stavebnictví využívaly přírodní živice, asfalt pro těsnění nebo nátěry střech. [9] [1]

Zhruba do roku 3500 př. n. l. se pro výstavbu zdiva používaly nepálené hlíněné cihly. Od ručně tvarovaných nepravidelných se postupným vývojem přešlo k přesnějším s hranami ručně seříznutými nebo vytvarovanými z forem, dnes nazývanými vepřovice nebo kotovice. Cihly dostávaly pravidelnou kvádřovou podobu v dřevěných formách různých velikostí. Tento způsob výroby se kolem roku 3000 př. n. l. objevuje i v Egyptě. Poté se cihly sušily na přímém slunci i několik měsíců. Předpokládá se, že tváření probíhalo bezprostředně po jarních deštích, kdy byl dostatek vody a následující měsíce přinesly horké léto. [10] [6]

Do směsi hlíny se podle různých nálezů přidávaly například otruby, sláma a zvířecí chlupy pro zlepšení vlastností. Staveb s použitím nepálené hlíny se kvůli menší rezistenci proti povětrnostním podmínkám příliš nedochovalo. [6]

Pálené cihly se v hojnějším počtu začínají objevovat až kolem roku 3000 př. n. l. během doby bronzové. Stejný vývoj cihelné výroby probíhá zároveň i v Číně. Vypalování, které probíhalo v cihlářských pecích, mělo velký vliv na vlastnosti materiálu, byl trvanlivější a odolnější proti výkyvům klimatu. Náročnost výroby a tudíž i cena pálených cihel byla ovšem několikanásobně vyšší než u běžných sušených. Dlouhou dobu se tak pálené cihly používaly například jen k obložení zdiva z cihel nepálených, na stavby významnějšího charakteru, chrámy, paláce a zikkuraty. [10] [6]

Z mezopotamského období byly nalezeny pálené cihly různých velikostí např. 400x400x80 mm nebo 350x150x100 na pětipatrovém zikkuratu Čogha Zanbíl z doby 1250 př. n. l.. Rozměry nalezených pálených i nepálených cihel závisí především na čase a místě vzniku. Obecně pro mezopotámské období lze dle nálezů tvrdit, že šířka cihly byla dvojnásobkem její tloušťky a její délka byla dvojnásobkem její šířky. [10] [11]

Na povrchu některých cihel se dochovaly vtačované symboly označující stavitele nebo účel použití staviva. Rozvoj architektury a technologie se začal projevovat i uměleckými výjevy na fasádách významných staveb. Během prosperity Babylonu byly postaveny úctyhodné stavby, s barevnými glazurami a prefabrikovanými reliéfy. Jednou z nich je Ištařina brána vystavena v nedalekém berlínském muzeu. Na obrázku 6 je vyobrazen lev z glazovaných cihel symbolizující

uctívanou bohyni Ištar. Glazura měla kromě zdobné funkce také ochrannou proti vodě. [11]



Obr. 6: Zobrazení lva na Ištarině bráně Babylonu z původních glazovaných cihel – vystaveno v Pergamonském muzeu v Berlíně [12]

V období Mezopotámie byla preferovaným stavebním prvkem stěna, sloupy a pilíře se začaly používat až v pozdějších dobách. Ze staveb a historických kreseb jsou na stěnách zřejmé převazby cihel s nepravidelným střídáním běhounů a vazáků. U vodorovných konstrukcí se můžeme setkat s nejstarší klenební technikou tzv. nepravou klenbou, předchůdkyní klenby valené.



Obr. 7: Klenba lípaná – Magasin [9]



Obr. 8: Klenba přečnělková – zikkurat Ur [13]

Na přelomu 21. století přišli vědci s další teorií o vzniku trvanlivých mezopotamských cihel. Některé stavby, jako například dominanta tehdejšího městského státu Ur vystavěna v období 2800 – 2500 let př. n. l. Mardukův (velký) zikkurat, poskytují chemické důkazy nasvědčující nikoliv pálení keramiky, ale využívání geopolymerizace. Jedná se o vznik vytvrzené cihly za mnohem nižších teplot, než se předpokládalo. Cihly jsou totiž pevnější a trvanlivější než při vypalování. Struktura, chemické složení a absence černých jader, tedy uhlíku usazeného v keramickém střepeu při teplotách vypalování pod 1 000 °C, tuto teorii potvrzují. Tvrzení podpořil i český projekt Akademie věd. Je tedy možné, že za doby Sumerské říše byl znám chemický způsob výroby keramiky. [14]



Obr. 9: Velký zikkurat v Uru, nynějším Iráku [15]

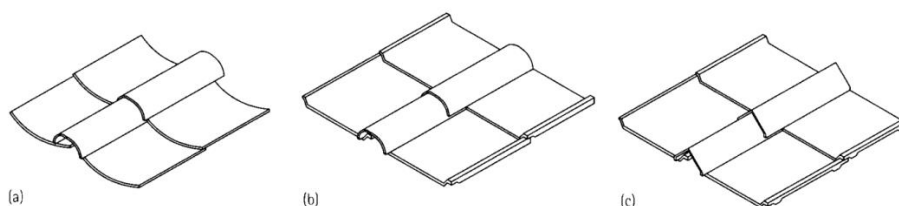
V prvním tisíciletí př. n. l. na území Mezopotámie začaly četné boje o vládu v jednotlivých městských státech. Jako nejvýraznější dynastie se do dějin na tomto území zapsala Perská říše. V období 539 – 331 př. n. l. sebou Achaimenovci přinesli jedinečnou architekturu ovlivněnou Dálným východem a řeckou a egyptskou říší. Vznikaly mohutné komplexy a nově paláce s prostornými sloupovými síněmi, které dosahovaly výšky i dvaceti metrů, což v té době nemělo obdoby. Pro nosné konstrukce významných staveb se začal více využívat opracovaný kvalitní vápenec, často i leštěný, a byly objeveny hrobky vytesané do skal. Reliéfy vstupních bran a zdobné sloupové města Persepolis se díky tomu dochovaly do dnes. Za zmínku stojí také palác krále Ardeshira zapsaného do světového dědictví UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization), známého jako chrám ohně postavený po vpádu Alexandra velkého, při kterém byla Persepolis prakticky zničena. Částečně zborcený

vstupní iwan má výšku 18 m a celá stavba je vystavěna ze zdiva z místních hornin kladených do maltového lože. Stavba představuje postupnou změnu v kladení důrazu na velké oblouky, baňaté kopule a kvádrové zdivo. [16]

Antické Řecko

Vývoj ve stavebnictví od počátku probíhal nezávisle na několika územích najednou. Objevené stavby se liší právě dostupností stavebních materiálů a technologickými postupy.

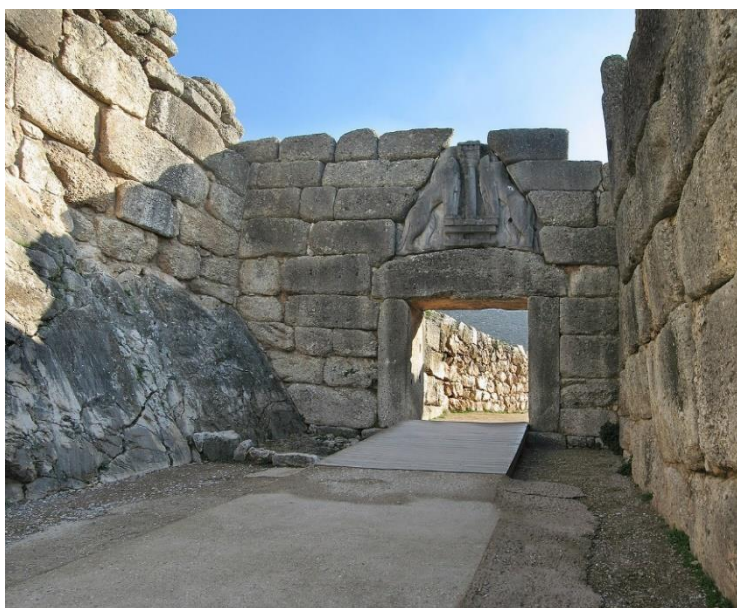
V Egejské oblasti na počátku období starověkého Řecka, bylo jako stavivo využíván především kámen a dřevo, vzhledem k jeho dostatku. Ve stejném období jako v Mezopotámii lze nalézt i zde nepálené cihly o šířce 370 nebo 220 mm používané jako výplň do hrázděných obydlí. Pálené cihly se se na tomto místě jako první v Evropě objevují až po roce 2000 př. n. l.. Odolnost pálené hlíny vedla k výrobě i pálených střešních tašek tzv. prejzových. Tvar této krytiny je dodnes spojován s řeckou architekturou. [11]



Obr. 10: Tvary pálené krytiny s širokými prejzy (a) lakónský, (b) sicilský, (c) korintský [11]

Do prvního tisíciletí př. n. l. na ostrovech i pevnině za Mínojského a Mykénského období vznikala města a rozlehlé paláce připomínající mnohdy bludiště. Jen na Krétě byly vystavěny komplexy Knossos, Faistos a Hafia Triada za použití tesaného vápencového zdiva kladeného na sucho nebo neopracovaných různě velkých kamenů uložených do malty. Vykopávky odkryly i komorové hrobky z nepálených cihel.

V Peloponés, centru kultury, vznikaly hlavně mezi 14. a 13. stoletím př. n. l. mohutné hradby z kyklopského zdiva široké i 7 m. Také na tomto území byla stejně jako v Mezopotámii využita přečnělková klenba z kamene. [7] [17]



Obr. 11: Lvi brána v kyklopském zdivu Mykénského opevnění [18]

Na Peloponésském poloostrově od prvního tisíciletí př. n. l. probíhaly nárazové boje mezi stoupenci městského státu Athén a Sparty. Ze slavné Sparty se toho bohužel mnoho nedochovalo, většina staveb byla ze dřeva a po 4. století n. l. byla Sparta několikrát vypleněna. Athény chráněné dlouhými hradbami válečná období přečkaly obstojněji a dnes se mohou pyšnit hojnou klasickou antickou architekturou. [19] [20]

Na výstavbu běžných městských domů se využívalo především dřeva, cihel nebo také řádkového zdiva. Pro významné stavby se používal především tesaný kámen, stejně jako na vzdálených Řeckých ostrovech. Znakem těchto staveb byly matematické proporce, konstrukční kontrast a symetrie. [7]

Po vzoru dřevěného sloupořadí používaného asi od 10. století př. n. l., jako jedna z prvních kultur začala využívat kamenné sloupové kolonády a dala tak vzniknout peristylu. Mezi nejstarší typické sloupové chrámy vzniklé do 6. stol. př. n. l. můžeme zařadit Artemidin chrám z Ano Mazaraki, Apollónův chrám v Korintu nebo Héřin v Olympii. Nejlépe zachované chrámy můžeme dnes navštívit v Athénách. Stavby byly prováděny bez pojiva, případně byly spoje opatřeny kovovými hmoždinkami nebo skobami. [21]



Obr. 12: Chrám Hefaisteion v Athénách [22] Obr. 13: Chrám Parthenon v Athénách [22]

S tímto typem kamenných staveb se lze setkat i na vzdálených místech jako Malá Asie, Sýrii nebo Egypt, díky tažením Alexandra Makedonského. Ten se nakonec usídlil v Egyptě, kde roku 332 př. n. l. založil město Alexandrie. Kromě legendární Alexandrijské knihovny město proslulo majákem na ostrově Pharos, který patřil mezi nejvyšší stavby tehdejšího světa. Na výstavbu byly použity vápencové bloky a jako vyztužení bylo použito roztavené olovo. [20] [23]

Egypt

Dávno před příchodem Peršanů a Alexandra Makedonského, ještě před počátky Antického Řecka, v údolí a deltě řeky Nil vznikala silně nábožensky založená kultura. Jedná se o počátky pravděpodobně nejdéle trvajících jednotného státu, Egypta. Vzhledem k silné víře v posmrtný život egyptská společnost nedbala příliš na trvanlivost svých pozemských obydlí, proto dnes nalézáme mezi nejstaršími archeologickými nálezy především pohřební a náboženská místa. Mezi nejstarší pohřebiště se zděnými hrobkami vzniklé ve 4. tisíciletí př. n. l. patří například místo Abydos. V lokalitě byly nalezeny několika komorové zděné hrobky ze sušených cihel. Sušené cihly byly vyráběny z nilského bahna, písku, vody, jílů a někdy slámy a zvířecích chlupů. [24] [25]

Kvádrový pravidelný tvar začaly cihly získávat pomocí dřevěných forem, které se do Egypta rozšířily kolem roku 3000 př. n. l. z Mezopotámie. Většina nalezených nepálených cihel byla běžných rozměrů, našli se ale kusy dlouhé i jeden metr. [3]

Nejstarší pálené cihly z nalezených hrobek, jako například Shunet El Zebib, pochází asi z roku 2700 př. n. l.. V komplexu stavby byl odhalen čtvercový plochý kopec z vápence a hliněných cihel tvořící čtyři ploché stupně. Odborníci objekt označují jako předchůdce stupňovitých pyramid. Podobnost nacházejí s pohřebním areálem krále Džoséra v Sakkáře, první oficiálně označovanou kamennou pyramidou z roku 2680 př. n. l.. K monumentální stavbě byly využity vápencové bloky připomínající svým tvarem cihlové zdivo. Kvádry byly kladeny v lehkém náklonu ke středu jehlanu, aby byla zvýšena stabilita monumentu. [26] [7] [27]



Obr. 14: Džosérova stupňovitá pyramida v Sakkáře [28]

Se 4. dynastií přišla změna v architektonickém slohu zádušních staveb. Vládce Snofru nechal během své vlády vystavět několik pyramid. Kromě Černé, lomené pyramidy, byla v Dashuru postavena také první "pravá" Červená pyramida ve tvaru hladkého čtyřbokého jehlanu. Zde bylo využito kvalitního načervenalého vápence z nedalekých dolů. Nehledě na proslulost pyramid v Gíze, svou výškou 105 m se Červená pyramida řadí na třetí místo. [7]

Chufuova (Cheopsova), Rachefova a Menkauréova pyramida byly stejně jako předchůdkyně postaveny z mohutných opracovaných vápencových kvádrů kladených do malty. Vzhledem ke snadné dostupnosti kamene, představující navíc věčnost a nesmrtelnost, byl nejčastěji používán ke stavbě významných

staveb. Nadále se však pro stavby běžných městských domů i paláců využívaly cihly pálené i sušené na slunci. [7]

Chrámové stavby byly určeny pro božstva, k výstavbě se tedy využíval kámen, stejně jako u pyramid. Architektura chrámů svou monumentálností nezaostává daleko. Kromě snadno dostupného vápence a pískovce se u takto významných staveb používal i čedič, žula, křemenec nebo syenit. Hojně využívané na sucho zděné sloupy a pilíře byly často členěny na patku, dřík a hlavici. Zdobné sloupové síně (hypostyl) se díky použitému materiálu zachovaly do dnes. [29]



Obr. 15: Chrám Luxor ze starověkých Théb cca 1400 př. n. l. [30]

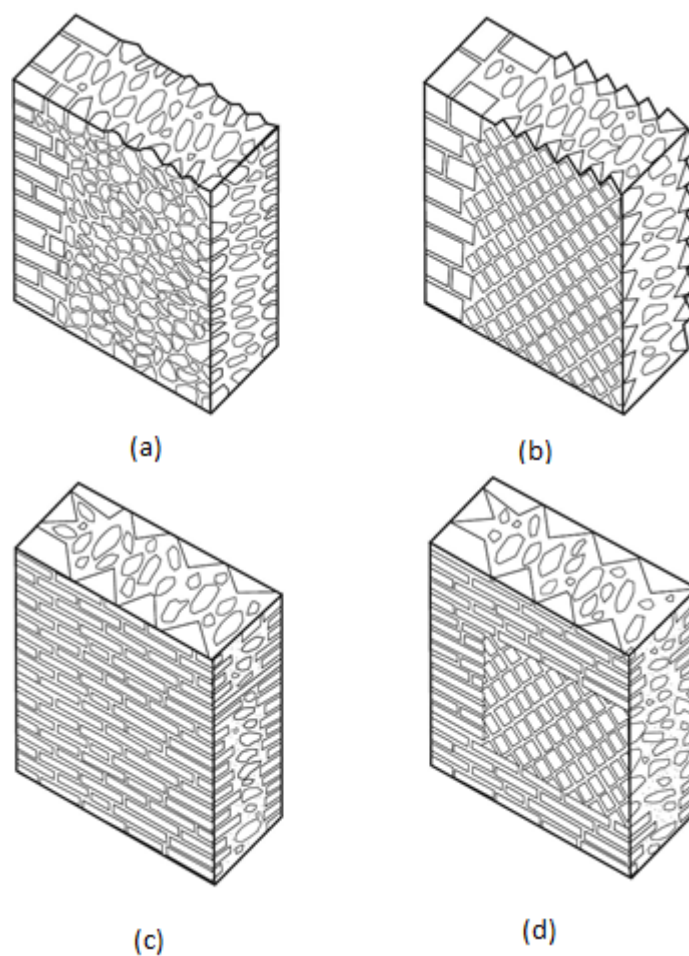
Římská říše

Stavitelství a kultura na území Antického Říma byly ovlivněny Řeckem a orientem. Ke stavění byly využívány stejné materiály a podobné technologie. Cihelné pálené zdivo se do této oblasti dostává o něco později, avšak přístup Římanů k výrobě a použití staviva se od ostatních kultur lišil. Vznikaly cechy pro řízení masové výroby cihel, u kterých byla kontrolována kvalita, byly značeny dle výrobce a objevuje se i modulace. [6] [11]

Cihelné výrobky byly využívané na sloupy, pilíře, podlahy, klenby i v několika podlažních budovách.

V Římě byla také nalezena nejstarší publikace o stavitelství a cihelném zdivu z roku 100 př. n. l. od římských architektů. Za průlomový přínos do stavebnictví

je považován objev hydraulické vápenné malty, do které se mísil tzv. puteolský písek. Ta pak měla podobné vlastnosti jako cementový beton. Díky tomu se rozvinulo několik druhů zděných konstrukcí typických právě pro Římskou říši. Kromě běžných hradebních zdí z opracovaného kamene kladeného na sucho se u některých konstrukcí začíná objevovat bosáž. Na obrázcích níže jsou znázorněny techniky různého zdění pomocí kamenů, cihel a jejich kombinací. Kromě využití techniky ztraceného bednění se objevuje i dřevěné bednění monolitických stěn, jak ho známe dnes. Spojení líce a vnitřního zdiva se dosahovalo vložením kovových spon do spár nebo pomocí příčných vazáků. [31]

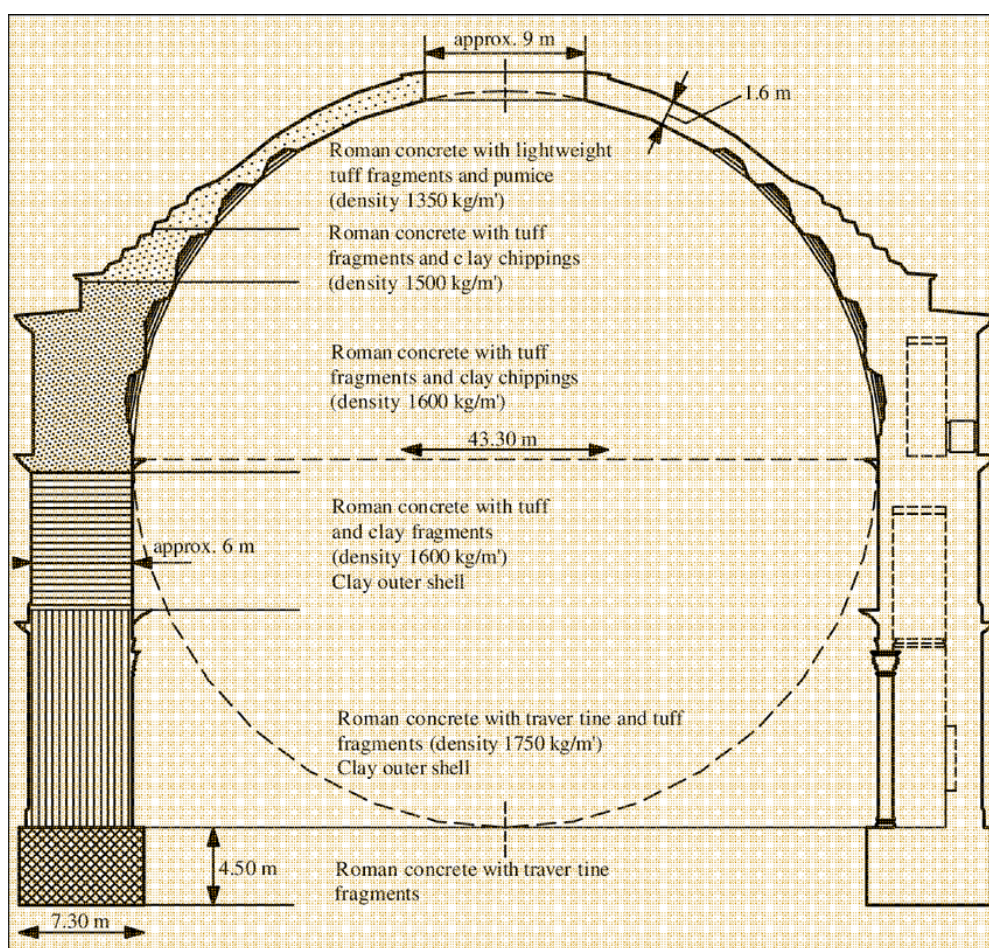


Obr. 16: Římské zdivo (a) *opus incertum* (smíšené zdivo dekorativní s litým jádrem), (b) *opus reticulatum* (jehlanové cihly s úhlopříčnou vazbou), (c) *opus testaceum* (cihly kladeny na plocho ve vazbě), (d) *opus mixtum* (smíšené zdivo) [31]

Ve východních oblastech Římské (Byzantské) říše a na Balkáně se k vyzdívání používal převážně hrubě opracovaný lomový kámen. Tvar kvádrů se neupravoval štípáním, nýbrž otloukáním špičákem a plochým dlátem. U staveb z pozdní Západořímské říše se setkáváme s cihelnými prvky o rozměrech

300x180x65 mm nebo 300x150x80 mm, tedy prakticky shodnými s moderní cihlou plnou pálenou. [32] [11]

Díky kreativní práci se zděnými konstrukcemi a znalostem statiky Římané hojně využívali plochy s velkými okenními otvory. V nich byla prvně využita skleněná výplň. O přelomovém porozumění statickému působení staveb jsou důkazem i nové způsoby klenutí stropu nebo vyzdívané skryté klenby nad rovnými otvory. Prvně byla použita křížová klenba, kupole a polo kupole s využitím vylehčujících kazet. Z dob Římské říše nám jsou stavby jako Koloseum, akvadukt Pont du Gard v Nimes nebo Pantheon důkazem inženýrské vyspělosti. [31]



Obr. 17: Technický řez konstrukcí Pantheonu v Římě [33]

Cihlářské umění se díky Římanům rozšířilo do celé Evropy. V 5. století se již využívaly prakticky rozměrově stejné cihly, jaké známe dnes. Po pádu Západořímské říše v roce 476 n. l. nacházíme první stavby křesťanského původu. Dá se říci, že v antickém cihlářství pokračovala především východní odtržená část, Byzantská, přetrvávající až do 15. století. [11]

1.2. Středověk

Na území Evropy s příchodem barbarských kmenů během 4. – 7. stol. antické stavební techniky a dovednosti na některých územích upadávaly. Na těchto místech se více využíval ke stavění kámen a dřevo. Z východu se ale díky uznání křesťanské výry i po pádu Západořímské říše postupně rozvíjí nový směr vycházející z antiky.

V průběhu středověku, tedy zhruba do 15. stol. (různé pro osídlené oblasti), výroba ani použití staviva nevykazovali překotný rozvoj. Výroba dále spočívala v ručním hnětení hlíny, tvarování pomocí dřevěných ráků umístěných na stole pokryté pískem nebo slámou a v přirozeném sušení. Dokonce ani základní zednické nářadí se prakticky od antiky do dnes nezměnilo. Zednická lžíce, dřevěné (rajblík) nebo kovové (kleťák) hladítko a další náčiní ke zdění mají prapůvod z doby vzniku cihel. [34] [32]

V jiných koutech světa nastává vrcholné stavební období. Z Asie se například dochovaly cihly na pero drážku nebo různé vazby dutých cihelných stěn. V 15. stol. za dynastie Ming započala největší etapa stavby monumentální Velké Čínské zdi, na kterou bylo použito různorodé stavivo v závislosti na místních zdrojích. V Orientu kvetla rozmanitost a vzorovanost cihelného zdiva. Nálezy ve Střední Americe prokazují výrobu přirozeně sušených cihel z hlíny a slámy používaných zde po staletí. [11]

Předrománské období 6. – 10. století

Za nejstarší stavby na našem území jsou považovány některé části velkomoravských staveb, především kostelů. Z nich se dá odvodit vliv antické stavební technologie. Často jsou při stavbě využívány valené, křížové a obkročné klenby. Nejstarší zbytky staveb u nás jsou až z poloviny 9. stol., a to základy kostela v Modré u Velehradu z lomového kamene, bazilika v Mikulčicích, objevená v roce 1956 nebo zbytky nejstarší rotundy sv. Klimenta. Většina velkomoravských staveb byla zděna z lomového kamene kladeného naplocho, výjimkou je přístavek kostela v Sadech, kde bylo užito pečlivě opracovaných pískovcových kvádrů. Nálezy římských cihel, například v Mušově značí, že v době Velké Moravy se zde minimálně zbytky římských opevnění nacházely. Za

nejstarší dochovanou kamennou stavbu v České republice je pak považována rotunda na hradišti Budeč. Je postavena z neopracovaného lomového zdiva a její vznik se datuje do počátku 10. stol.. [32]



Obr. 18: Rotunda sv. Petra a Pavla, Budeč [35]

Typické pro naše území ke konci tohoto období je zvětšování tloušťek zdí, používání neopracovaného kamene a neomítnuté režné zdivo. Vzhledem k rozšířenému křesťanství jsou z trvalých materiálů postaveny především církevní stavby jako kaple, baziliky a kláštery. [7]

Otonské a románské období 11. – 13. století

Styl stavění silně navazuje na antický Řím a rozšířil se postupně z Itálie a později z Francie. Na našem území se využíval především lomový nebo tesaný kámen jako opuka, pískovec, tuf a vápenec. Cihly se doposud používaly v malém měřítku. Hojně se využívalo rozmanitějších technik zdění jako kvádřikové, řádkové, klasové či kombinované s podřezávanými spárami a stavby se vyznačovaly mohutnými stěnami. [36]

Pro stropní konstrukce se začínají využívat zděné klenby lunetové, žebrové a klášterní. Typickou stavbou jsou rotundy, jednolodní kostelíky s apsidami. Příkladem takové stavby u nás je rotunda sv. Víta na Pražském Hradě postavena kolem roku 930. Je vyzděna z pravidelných opukových kvádřiků kladených do řádků se zarovnanými spárami. Klášter sv. Jiří na Doubravce u Plzně z roku 992 je vystavěn z opracovaných pískovcových kvádrů s oříznutými spárami. Dá se

odvodit, že dle zvyklosti tehdejších stavebních hutí a dostupnosti materiálu v oblasti, byly i realizované stavby. Například v Posázavské oblasti byla jako stavební materiál užívána místní, těžko opracovatelná žula. V případě Prahy se pro změnu jednalo o bělohorskou opuku, kterou bylo možno štípat a otesávat ostrým zednickým kladivem. Co se týče nejužívanějšího zdiva, kvádrkové řádky se prováděly výšky 250 mm a více, což je dvakrát tolik oproti minulým stoletím. [7]

Na běžné obytné domy se u nás ale stále nejčastěji využívalo dřevo. V Itálii a Německu se v tuto dobu objevily i zděné obytné domy věžovitěho charakteru z pálených cihel, které si mohla dovolit jen vyšší třída nebo šlechta. Dalším typickým sídlem pro tuto vrstvu obyvatel jsou tvrže a hrady obehnané širokými zděnými hradbami s věžemi. Na našem území se opevněná obydlí rozmohla až v období gotiky. [7]

V období vrcholného románského slohu byly u nás významné světské i církevní stavby prováděny nezávislými migrujícími stavebními hutěmi, které přinesly obohacení slohu a technologických znalostí z významných oblastí (Itálie, Francie). Projevilo se to především dispoziční složitostí staveb, větší náročností jejich tektonického řešení (nové kompoziční členění stěn), pečlivým prováděním kamenické práce a především se začalo využívat pálených cihel. [32]

Románská bazilika ženského benediktinského kláštera v Teplicích z počátku 12. stol. je provedena z pečlivě opracovaných a přesně osazovaných pískovcových kvádrů formátu 230-250x500-650x330-430 mm na tenkou vrstvu vápenohlinité malty, které tvořily vnější i vnitřní líc zdiva. Jádro zdiva bylo vylité vápennou maltou s úlomky porfyrových a čedičových kamenů. Taková jádra se prováděla buď ze sypané směsi kameniva zalévaného řídkou vápennou maltou nebo tzv. římským způsobem (opus incertum), tedy vrstvením sypké směsi kameniva a nehašeného vápna a následným zalitím vodou. Stejnou technologií byl postaven románský kostel v Železnici u Jičína z roku 1220. [32]

U staveb pozdně románských se setkáváme s opracováním čel kvádrů, kde jsou vytvořeny široké hladké okraje, zatím co střed je ponechán hrubý. V přechodném

období se pak znovu využívá ke zdění prostého lomového kamene, z důvodu nižší ceny staviva a rychlosti výstavby. [32]



Obr. 19: Goticko-románský hrad Loket z lomového kamene ze 13. století [fotka autora]

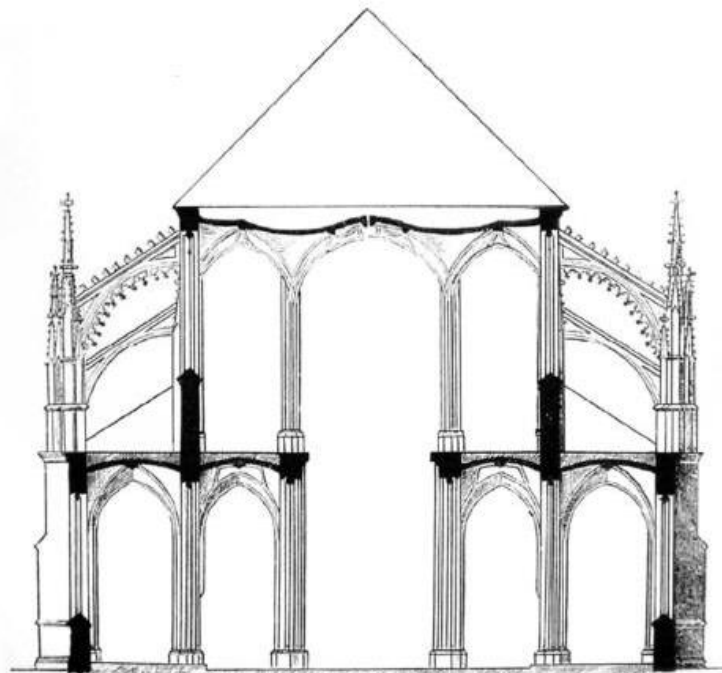
Gotika 12. – 14. století

V tomto období nastal přechod z masivních konstrukcí na vylehčené pomocí důmyslných opěrných systémů. V jižních zemích využívajících cihelné zdivo nastal mírný obrat ke kameni, vzhledem k potřebě vysoké únosnosti. Na stavby se preferoval pískovec a žula, které se brousily do hladka. Jako pojivo u subtilních konstrukcí se využívalo litého olova nebo železných hmoždinek a trnů k pevnému spojení prvků. Mohutnější konstrukce se kladly na hliněné nebo vápenné malty, popřípadě na sucho a finální vrstvu tvořila omítka. V rámci delších úseků lze narazit na odlišně kladené prvky z důvodu ztužení stěny. [32]

Používané cihly se nespíš z důvodu urychlení výstavby vyráběly větší a v západní Evropě byly často použity jako výplň do hrázděných konstrukcí. Obecně cihelné zdivo se v této době v našem okolí hojně objevuje především v Německu nebo Prusku, u nás se začalo prosazovat až po příchodu cisterckoburgundské gotiky, přičemž nalezené ručně vyráběné cihly jsou přibližného formátu 265x130x80 mm. Tento formát odpovídá tzv. klášterním cihlám dovezeným z Německa. Na gotické cihelné přístavbě kláštera sv. Anežky v Praze lze pozorovat střídání běhounů a vazáků s převazbou o čtvrt délky cihly

doprava. Dále se můžeme setkat se zdívelem ve vazbě polokřížové a křížové z poloviny 14. stol.. [37] [38] [32]

Zatímco do architektury pronikaly nové stylové prvky, způsob zdění se proměňoval velmi pomalu, což je zejména patrné na klenební technice. Dlouho se využívala tzv. litá klenba známá z antického Říma. Dále potom zděné klenby z lomových kamenů kladených po výšce do maltového lože do prkenného bednění, které se svrchu opět zalévaly maltou. Následné tvrdnutí malty trvalo i několik měsíců, což motivovalo stavitele k vynalezení prvních urychlovačů tuhnutí. Většinou se využívaly bílkoviny jako vejce, pivo nebo med. Nový vývoj technologie kleneb přišel až s katedrálami, kdy se lehčích cihel využívalo jako bednění. Katedrální stavby jsou dodnes obdivovaným klenotem gotické architektury. Díky poznatku o zajištění vodorovných sil od kleneb se začaly stavby rozšiřovat o vnější opěrné systémy, kdy se tlak přenáší z kleneb do žeber a do sloupů nebo pilířů. [32] [7]



Obr. 20: Skica opěrného systému chrámu sv. Barbory v Kutné Hoře z roku 1388 [39]

Pozdní gotika 15. století

Během období husitských válek upadlo hospodářství na našem území do katastrofálního stavu a dlouho do konce 15. století se situace nezlepšovala. Tím se prakticky zastavil stavební vývoj a rozmach gotického umění. Veškeré volné finanční prostředky se vkládaly do hradeb a opevnění, a tak se některé stavby zanechaly i rozestavěné, jako například katedrála sv. Víta na Pražském hradě. [40]

Díky tomu se začalo ke stavění využívat levnější a dostupnější cihelné zdivo, které se používalo především při nové výstavbě poničených měst. To vedlo k rozšiřování sortiment cihelných prefabrikátů. Využívala se již známá klenební žebra (klášter v Nepomuku), prefabrikáty na ostění, portály, římsy, střešní krytiny, které se opatřovaly i barevnými glazurami (bobrovky z Kutné Hory). [40]

Mezitím v bohatších a klidnějších částech Evropy vznikají nové kreativní techniky klenutí stropů. Z období vrcholné a pozdní gotiky se nám tak zachovaly klenby hvězdová, síťová, vějířová a kroužená bez využití žeber. [7]

1.3 Novověk

Renesance a manýrismus 15. – 16. století

Po uklidnění situace na politicko-církevním poli se stavitelství začalo pomalu ale jistě zase rozvíjet. Renesance se opět navracela k architektuře antiky, rozvíjely se řemesla, manufaktura a některé vědní obory. Kámen postupně začal ustupovat cihelným kvádrům, přičemž jejich velikost se zmenšila. Cihelné zdivo se ale v tomto období začíná zdobně omítat nebo se využívá možnosti barvení a glazování cihel. [41] [38]

Ve výrobě doposud prakticky nedošlo k posunu, pouze byly nalezeny zmínky o lisovacích stolech na cihly. Sušení probíhalo dva až čtyři týdny většinou na zemi pokryté slámou pro pozdější snadnou manipulaci. Vypalování probíhalo v pecích dosti podobných těm římským za pomoci dřeva. [3]

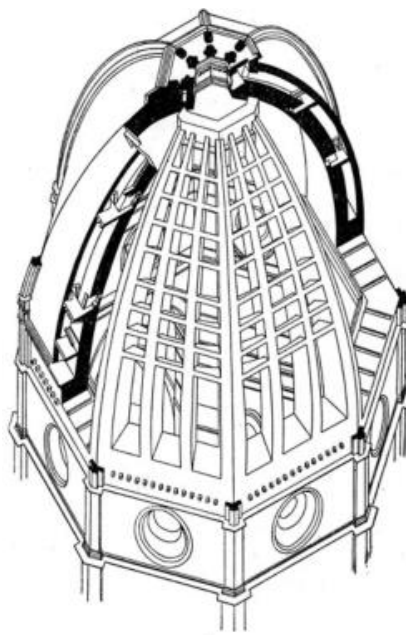
Z pohledu konstrukčního systému nahrazuje gotickou štíhlost vyváženost hmot a rozměrů stavby s konstrukční jistotou vzbuzující pocit bezpečí. Vnější opěrný

system zachytávající vodorovné síly od klenutých stropů se přesouvá do interiéru a stabilitu zajišťují železná táhla. [7]



Obr. 21: Goticko-renesanční kostel sv. Petra a Pavla v Kralovicích [42]

Významným milníkem stavebního inženýrství bylo dokončení katedrály Santa Maria del Fiore v Itálii kolem roku 1440. Stavba o rozponu 42 m je zastřešena dvojitou zděnou kupolí s vnitřními výztužnými žebry. Tato klenutá konstrukce nevyžadovala během výstavby žádné dodatečné bednění. [1]



Obr. 22: Konstrukce kupole stavby Santa Maria del Fiore ve Florencii [1]

V tomto období také stojí za zmínku objevení Ameriky koncem 15. stol., která tou dobou byla osídlena méně rozvinutou civilizací, než v ostatních koutech světa. Ta byla příchodem vyspělejších obyvatel na všech úrovních převálcována a začaly se zde zavádět stejné postupy stavění jako v Evropě. [11]

Baroko 16. – 18. století

S barokem přišla nová architektura tzv. pevnostní, jejímž znakem byla účelnost a systémovost. Až do 19. stol. byly pevnosti stavěny totožnou technologií, tedy stěny se obezdívali cihlami a armování bylo z kamenných bloků. Pevnosti se obvykle obklopovaly vodou, a proto se pro zdění musela využívat hydraulická pojiva, která měla svůj průlom v druhé polovině 18. stol.. U stavby tereziánské pevnosti z roku 1780 se již setkáváme s použitím románského cementu (kamenný popel) těženého v Lukavci. Stejný cement se také využil při opravě zámku v Ploskovicích. [32]

Cihly ke zdění byly od předchůdkyň vyšší. Nejrozšířenějšími cihlami u běžných domů ale byly stále vepřovice, pálené cihly byly dostupné pouze pro majetné obyvatele. Způsob zdění nevykazoval žádné změny, pouze se měnil vzhled povrchových úprav staveb. Od 17. století ve střední Evropě vznikl cechový model s vlastní mírou, který se prosazoval s drobnými úpravami až do 19. století. Na našem území se koncem 18. stol. stanovily normalizované rozměry používaných cihel na 65x140x290 mm, které se zachovaly do dnes. Můžeme se však setkat i s dovezenými cihlami z Rakouska ve formátu 75x150x300 mm nebo z Německa velikosti 75x125x250 mm. Ke každé stavbě již bylo také požadováno předložení stavebních výkresů pro schválení výstavby. [43] [7] [38]

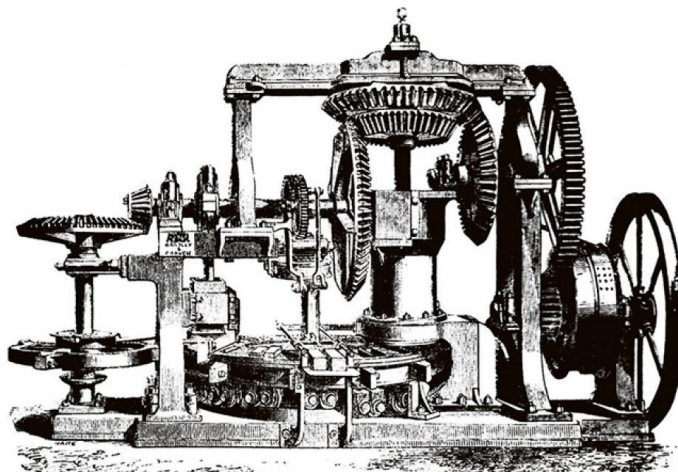
Dále vzniká nový typ řemeslníků, kteří se zaměřili na vyřezávání a tvarování cihelných výrobků, které po osazení do stavby vytvořili nevídané reliéfy. Tyto cihly se vyráběly z jemných prosévaných jíílů, to poskytlo umělcům možnost vytvořit hladký a přesný povrch. [3]

Vyvrcholení a předzvěst velkých změn představoval rozvoj průmyslové výroby cihel holandskými osadníky v údolí řeky Hudson v Americe. K celosvětovému rozmachu cihelného zdiva přispělo také několik zákonů a předpisů omezující výstavbu dřevostaveb ve městech z důvodu rozsáhlých požárů. [44]

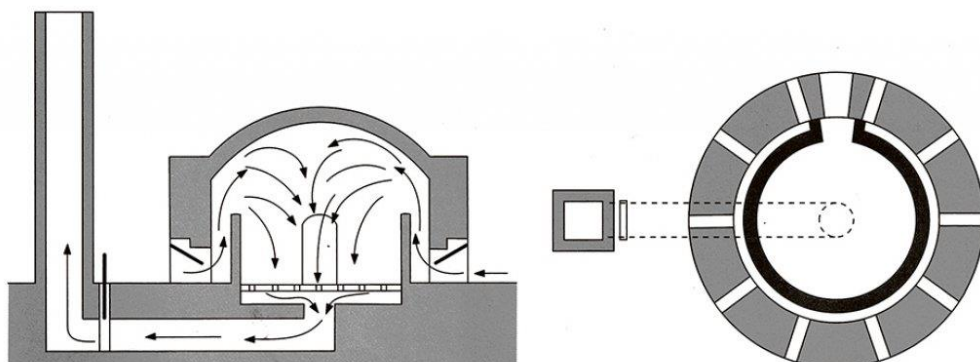
1.4. Moderní doba

19. století

Velký přelom tedy přichází roku 1819, kdy vznikl první stroj na výrobu cihel. Cihelné zdivo se díky přesnější a stejnoměrné výrobě stalo pevnějším a spolu s vynálezem vyztuženého zdiva se hojně využívalo i na inženýrské stavby. Keramické výrobky se také nově začaly vkládat do rovných stropních konstrukcí pro jeho vylehčení. Další objevy na sebe nenechaly dlouho čekat, a tak se od poloviny 19. stol. začíná využívat k výrobě cihel šnekový lis nebo kruhová pec. Díky kruhové peci patentované v Berlíně (Hoffmannova kruhovka) bylo k vypálení cihel použito až o dvě třetiny méně paliva. Poskytovala kontinuální výrobu, vyšší pevnost a kvalitu staviva. [3] [45]



Obr. 23: Stroj na výrobu cihel z Washingtonu D.C. [3]



Obr. 24: Kruhová Hoffmannova pec [3]

Nastalá průmyslová revoluce přinesla významnou změnu cihlářskému řemeslu, které se přesunulo do továrního prostředí. Cihly začaly být vyráběny strojně od lisování po umělé sušení vynalezené v roce 1867 a každý výrobce si své cihly kolkoval. Vznikaly nové zdící prvky, lehčené cihly s dutinami nebo segmenty pro komíny. Změny se týkaly celého hospodářství, začaly se využívat nové materiály jako litina, ocel a také vznikla první vyztužená betonová konstrukce. Byl objeven Portlandský cement a jako pojivo se nově využívala i cementová malta. Koncem 19. stol. se ve stavebnictví začaly rozšiřovat nosné ocelové a železobetonové konstrukce, které částečně odsunuly zdivo na druhotnou kolej, ale i tak vznikaly zajímavé kombinace těchto materiálů. [1] [38] [7] [6]

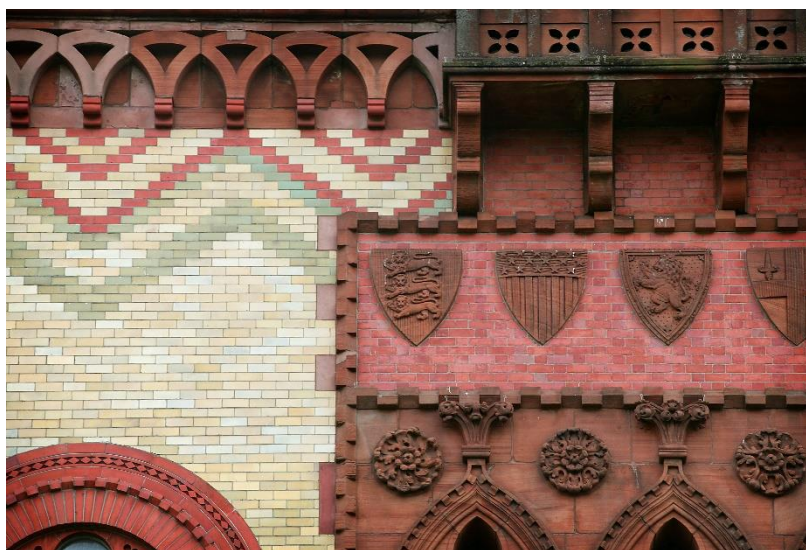
Nedlouho po strojní výrobě keramických cihel se začínají v Německu objevovat i cihly vápenopískové vyráběné, jak název napovídá, pouze z vápna, písku a vody. Koncem století je pak patentován revolverový lis a Německo se stává kolébkou vápenopískového průmyslu. Hojně se začaly využívat například v Polsku a Maďarsku. K nám byly vápenopískové cihly dováženy z Bavorska a v Mešně u Rokycan tak mohla vzniknout první známá vápenopísková stavba kostel Nejsvětější Trojice. [46] [47]



Obr. 25: První vápenopísková stavba u nás – kostel Nejsvětější Trojice v Mešně [48]

Cihelné zdivo je již v českých zemích navrhováno podle stavebních řádů (pražský řád). Zdivo bylo předepsáno tloušťky minimálně 450 mm nebo 600 mm podle výšky objektu, rozšiřování po výšce budovy se provádělo do interiéru a převazba se tradičně prováděla o 1/4 cihly. Tyto řády však částečně omezily vývoj konstrukcí. [11]

Konec 19. stol. do Spojeného Království přinesl zlatý věk dekorativního zdění a jako vrcholem je považována stavba Templeton's Carpet Factory v Glasgow. [49]



Obr. 26: Detail zdobného zdiva na stavbě Templeton's Carpet Factory v Glasgow [49]

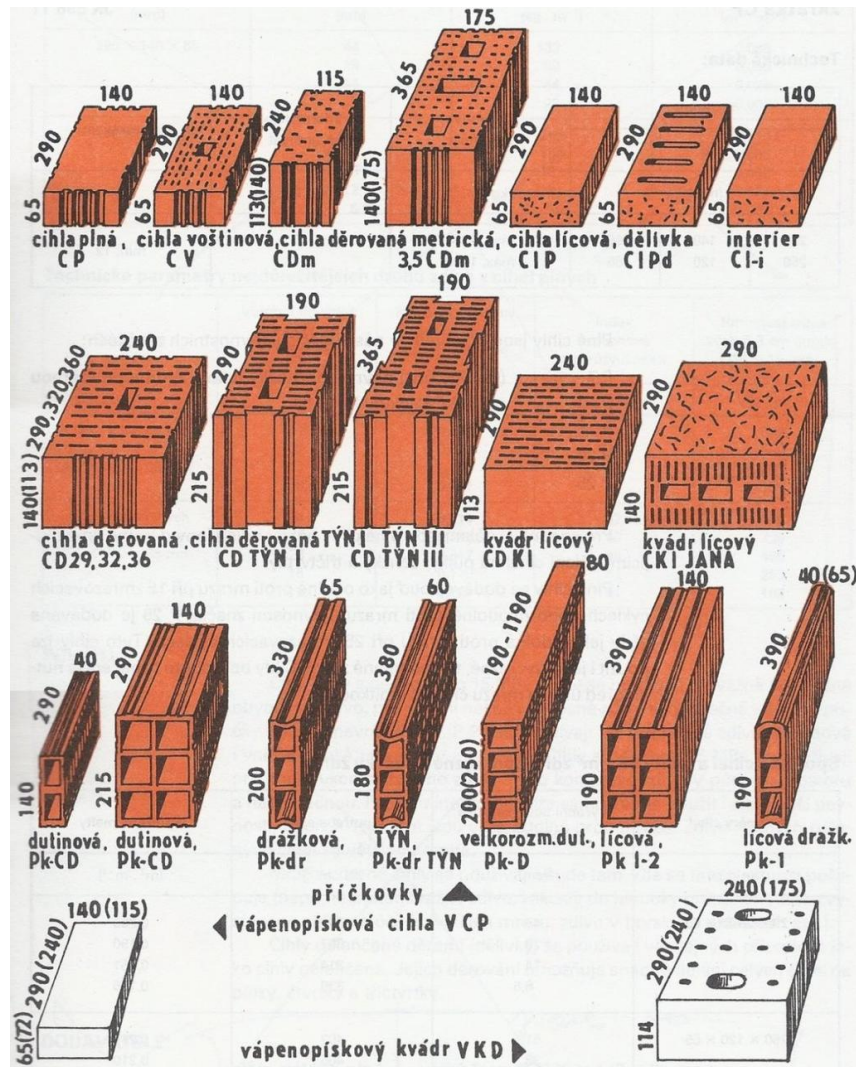
20. století

Největší posun ve stavebním průmyslu můžeme přisuzovat právě dvacátému století. To nás totiž přeneslo od ručně vyráběných cihel k masivní průmyslové výrobě staviv z novodobých materiálů.

Většina cihel vzniklých v Evropě i Americe na počátku 20. stol. je vyrobena ručně. Avšak následující generace přichází s objevem spalovacího motoru a elektřiny a proces výroby se rychle automatizuje. Přelomové kruhové pece nahrazují tunelové, které poskytují ještě masivnější výrobu a palivem k výrobě se místo dřeva stává plyn. [3]

Pro zlepšení tepelně izolačních vlastností vznikají nové výrobní technologie. Na počátku století se do cihelného střepu přidávaly například piliny nebo uhelný mou. Ztrácela se tak ale jejich pevnost a vzhledem k nedostatečnému tlaku na

tepelněizolační schopnost zdiva nedošlo k rozvoji ve větší míře. Nejčastěji se tak na území Evropy setkáváme s cihlami voštinovými, různě děrovanými a vápenopískovými. [50]



Obr. 27: Příklady používaných zdicích prvků na našem území [51]

Mezi tím ve Švédsku po roce 1927 vznikají první průmyslově vyráběné autoklávované pórobetonové tvárnice. Jejich sériová výroba začala v roce 1929 a roku 1940 dostávají své světově známé označení Ytong. Postupem se hledají nové lepší materiálové varianty staviv. Mezi nejvyužívanější materiály patřila škvára, škvárobeton, šamot nebo struska. [52]

Po 2. světové válce se svět zaměřuje na obnovu a upřednostňuje se rychlost panelové výstavby, obecně betonu i oceli. Zdivo tak získává silného soupeře na poli stavebnictví. U nás se využívají tedy především pro menší stavby nebo jako

vyzdívka nosného systému. Úpadek klasického cihlářství v České republice lze pozorovat na počtu cihlen během 20. stol., kdy ze 107 funkčních zůstalo na konci století pouhých 22, a roku 2014 byly zaznamenány poslední dvě tradiční výroby, které jsou dnes již nefunkční. Oproti tomu v sousedním Německu se jedním z hlavních staviv pro revitalizaci stává právě vápenopísková cihla. [48] [53]

Avšak na popud normalizace a zvyšujícímu se tlaku na tepelně technické vlastnosti, akustiku a rychlost výstavby vznikají nové větší zdící prvky – tvárnice. Jednalo se o plné i dutinové prvky využívané pro nosné zdivo nebo výplň do skeletů. Za účelem zrychlení zdění se také u některých tvárnic upouští od maltování styčných spár a využívá se spojů pero - drážka. Díky zvětšování rozměrů při malém nárůstu váhy v důsledku vylehčení se výrazně zvyšuje především efektivita zdění. [50]

Od 70. let minulého století se mezinárodní normalizační organizace začaly také zaměřovat na geometrii staveb a jejich částí. Roku 1990 vešla v platnost ČSN 730005 o modulové koordinaci rozměrů ve výstavbě na základě mezinárodních norem a předpisů. Díky tomuto postupu se směřovalo k unifikaci a normalizaci rozměrů stavebních prvků. Základním modulem byl zvolen 100 mm a od něj se odvozují zmenšené či zvětšené moduly jako 50 mm, 5 mm, 300 mm nebo i 2000 mm. [54]

2. Současnost

Na světovém trhu se dnes můžeme setkat s nespočtem druhů staviv odlišujících se materiálovým složením, technologií výroby, rozměry, tvary i způsobem jejich pojení.

Nejen stavivo se postupem času vyvíjelo. V rámci urychlení výstavby a zlepšení mechanických a tepelně technických vlastností celku můžeme jako pojivo využít nejen klasické malty, ale i lepidlo na tenké spáry nebo PUR pěnu. [1]

S přesným zděním na tenkovrstvou maltu se prvně setkáváme na počátku tohoto století. Tloušťky spár se mohou pohybovat mezi 3 – 1 mm, což přináší nejen výrazné zrychlení výstavby, ale i snížení spotřeby materiálu nebo úniku tepla

zdivem. Nedlouho na to výrobci keramických tvárnic představili broušené tvárnice, které mohou být pojeny polyuretanovou pěnou s použitím i do $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Samotný polyuretan nepředstavuje novinku, v různých průmyslech byl využíván od poloviny 20. století. Až v 70. letech vzniklo první ruční dávkovací zařízení a pěna tak mohla být použita přímo na stavbě. Vzhledem na její dnešní využití je ale třeba dávat pozor na typ konstrukce. V případě kumulace většího množství zatížení, například u pilířů nebo vícepodlažních budov, je zásadní si uvědomit, že zdivo na PU pěnu má výslednou pevnost o polovinu menší než s tenkovrstvou celoplošně nanášenou maltou [50] [55] [56]

Po přijetí EC (Eurokódů) se výrobci jak tuzemští tak zahraniční začali zaměřovat na přesnost výroby a certifikaci výrobků pro usnadnění distribuce. V rámci ČSN EN 1996 jsou zdící prvky rozděleny dle úrovně kontroly výroby do kategorie I nebo II a dále se dělí do čtyř skupin podle procentuální přítomnosti dutin. Jednotlivé skupiny a kategorie mohou být přiřazeny k těmto definovaným materiálům stanoveným dle ČSN EN 771-1 až 6: [57]

- pálené zdící prvky
- vápenopískové zdící prvky
- betonové tvárnice s hutným nebo pórovitým kamenivem
- pórobetonové tvárnice
- zdící prvky z umělého kamene
- zdící prvky z přírodního kamene opracovaného do tvaru kvádrů

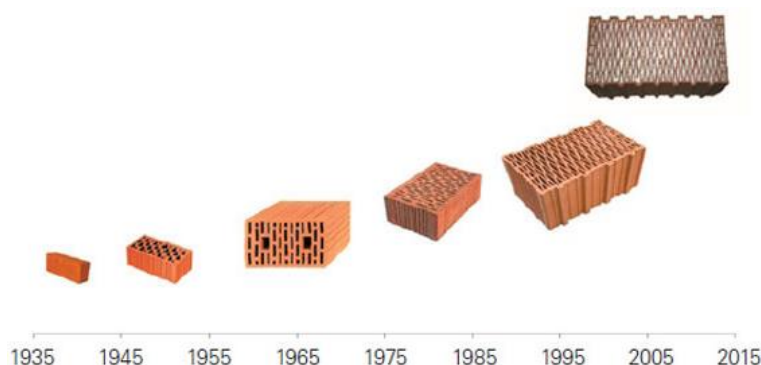
EC6 dělí použité malty do zdiva na maltu obyčejnou, maltu pro tenké spáry a lehkou maltu. Do celkové pevnosti zdiva se projevuje, zda se jedná o maltu návrhovou nebo přepisovou. Návrhové průmyslově vyráběné malty jsou dovezené na stavbu a jejich pevnost je deklarována výrobcem. Předpisové se vyrábějí dle poměru přísad na stavbě a nelze zaručit přesnost výroby (1 cement:1 vápno:5 písek). Pro nevyztužené zdivo je stanovena malta s pevností minimálně M1 (1 MPa), obyčejná malta pro vyztužené zdivo má být minimálně pevnosti M5 a malty pro tenké spáry a lehké malty také nejméně M5. [1]

2.1. Pálené a nepálené zdící prvky

V rámci 20. století prošla cihla velkou změnou, i přes to cihly plně pálené mají ve stavebnictví stále své uplatnění, vyrábějí se v mnoha barvách a tvarech do dnes.

Ustálený český výrobní rozměr je 65x140x290 mm, například oproti tomu německý je 71x115x240 mm. V zemích se zakořeněnou tradicí lze stále nalézt nadšence, kteří ctí a udržují tradici ruční výroby cihel plných pálených, takových podniků však nezbývá mnoho.

Již zmíněné dutinové cihly, příchod velkoformátového staviva a automatizace výroby přinesla dnes celosvětově známé keramické tvárnice s různým žebrováním.



Obr. 28: Znárodnění vývoje cihelných výrobků v průběhu nedávné minulosti [58]

V 90. letech se u nás po uvolnění trhu začíná hojně využívat nových výrobních technologií a objevuje se u těchto tvárnic spoj na pero – drážku značené P+D bez nutnosti promaltování svislé spáry. Omezil se tak tepelný most vznikající na styčné spáře a zrychlila se výstavba. [58]

Firma HELUZ roku 2003 pak přichází s broušenými tvárnici STI SB. Jejich výška se díky přesnosti výroby zmenšila z 238 mm na 249 mm. U těchto tvárnic se upouští od běžně maltované spáry v tloušťce cca 12 mm a začíná se využívat jemných lepidel pro tenké spáry a polyuretanových pěn o tloušťce spáry 1 – 3 mm. Vyráběné bloky od tloušťky stěny 365 mm splňovali tehdejší normové požadavky bez nutnosti zateplení. V roce 2009 díky úpravě cihelného materiálu a novému tvaru cihly se oproti dosavadní řadě zvýšil tepelný odpor o 20%. O tři roky později je na český trh uveden v zahraničí již známý výrobek, který posunul trend keramických tvárnic o další úroveň výše. Jedná se o plněné tvárnice tepelným izolantem, v případě firmy HELUZ polystyrenovými kuličkami. U tvárnic různých materiálů se jako plnivo nejčastěji využívá minerální vata, polystyren nebo perlit. To dnes odlišuje přední výrobce plněných tvárnic. [59] [60]

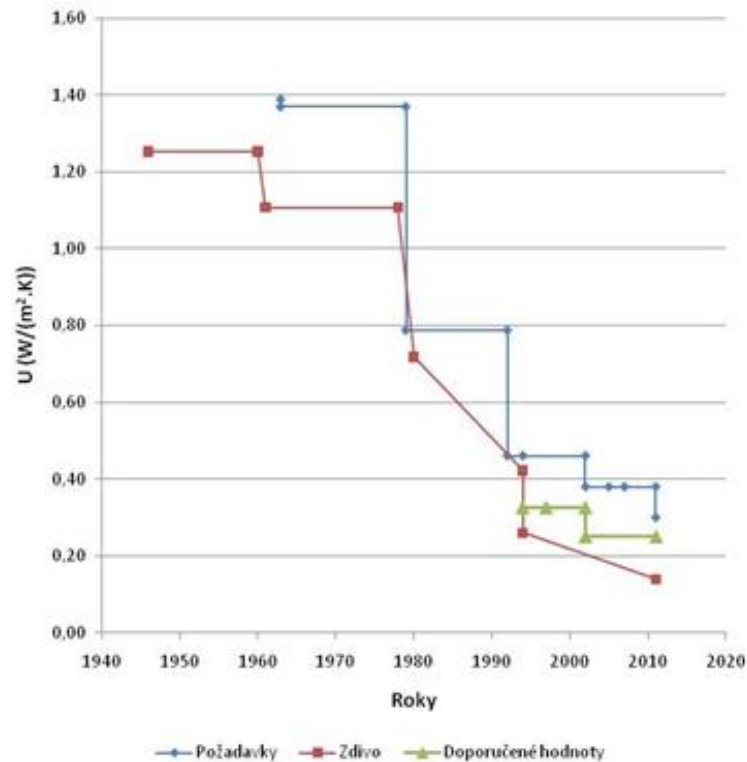
Jeden z největších výrobců cihel, společnost Wienerberger, vyrábí tvárnice Porotherm T Profi plněné minerální vatou i na našem území v Novosedlech na Moravě. Celý proces výroby, tedy i plnění dutin je plně automatizovaný. Pro zlepšení tepelně technických vlastností a snížení objemové hmotnosti samotné keramiky je směs zhruba z jedné třetiny tvořena dřevěnými pilinami, po kterých při vypálení zbydou póry. Sypký materiál je drcen na velikost zrn 0,8 mm a po smíchání s vodou je směs protlačována skrz matrici (ocelová deska s otvory pro požadované vzorování). Nekonečný had je automaticky nařezán ocelovým drátem a na jednotlivé kusy pak putuje do sušárny, kudy projíždí dva dny. Jedná se o sedmdesáti metrový tunel, kde je teplota postupně navýšena ze 40°C na asi 80°C. Po vysušení je materiál připravený na vypálení. V peci při teplotě nad 1000°C zůstává dalších 30 hodin. V případě izolačních tvárnic nastane po zbrúšení automatizované plnění hydrofobizovanými špalíky minerální vaty. [61]



Obr. 29: Příklady dostupných cihelných výrobků plněných izolantem na trhu [62]

Zdění z pálené keramiky se díky změnám v technologii výroby a vlastností samotných výrobků za posledních 50 let proměnilo srovnatelně jako za předešlá tisíciletí. Především pak z pohledu tepelné techniky, kdy tepelně izolační zdivo tloušťky 300 mm odpovídá tepelným odporem stěně z cihel PP (plných pálených) o tloušťce 4 m. Se zpřísněním požadavků na zacházení s energiemi však roste

tloušťka zdiva a z praktického hlediska již nebude možné tloušťky tepelně izolačních cihel dále navyšovat. Je tedy pravděpodobné, že v následujících letech se setkáme s dalšími inovacemi.



Graf 1: Trend ve vývoji součinitele prostupu tepla v nedávné minulosti [62]

Snižování emisí CO₂ a ubírání se k přírodnímu stylu života v minulém desetiletí navrátilo do stavebního průmyslu i cihlu nepálenou. Společnost HELUZ nabízí aktuálně jako jediná na českém trhu průmyslově vyráběnou nepálenou hliněnou cihlu pro tloušťku stěny 120 a 250 mm. Nejedná se již složením o známé vepřovice, ale skládá se pouze z cihlářské hlíny a příměsi písku. Sušení probíhá asi 50 hodin a stejně jako u jiných nepálených cihel je třeba zamezit přímému styku s vodou. [63]



Obr. 30: Nepálená hliněná cihla od firmy Heluz [63]

Mezi známé výrobce keramických cihel u nás patří dále firma KM Beta s cihlami Profiblok a za našimi hranicemi firma Erbersdobler Ziegel, která drží krok se světovými trendy. Německá společnost, která se zaměřuje především na vývoj, k nám dováží například cihly řad Ecoton, Evoton nebo Revoton. Skladebné rozměry délky a výšky tvárnic od většiny výrobců se pro kompatibilitu ustálily na hodnotě 250 mm, přičemž tloušťky se odvíjejí od výrobce v rozsahu 80 mm až 500 mm.

2.2. Vápenopískové zdící prvky

Tvárnice s vysokou pevností mají delší historii, než se v Čechách pravděpodobně domníváme. Přes 120 let známý materiál byl u nás pro realizaci staveb totiž velmi málo využívaný. Značí to i jeho praktická absence v normách až do přijetí Erurokodu 6 v roce 2010. Větší rozvoj přišel až po expandování německé firmy Zapf Daigfuss na náš trh, která představuje kolébku vzniku těchto cihel. [64]

Do dnes je tamní první výrobní závod v provozu a tento rok slaví 122 let. Výrobní proces je podobný výrobě pórobetonu. Směs nehašeného vápna, křemičitého písku a vody se nechá vyzrát v reaktorových zásobnících, poté se slisuje a putuje do parní pece - autoklávu. Zde při 200°C a tlaku vodní páry 16 bar získají cihly po 4 – 8 hodinách svou pevnost. V dnešní době jsou touto a dalšími firmami nabízeny i velkoformátové bloky zděné strojně s vysokou přesností. [47]



Obr. 31: Průběh jeřábové výstavby z vápenopískových bloků [65]

Během šíření povědomí o vápenopísku u nás vznikaly další konkurenční výrobky například od společnosti Xella CZ tvárnice Silka, od KM Beta produkty Sendwix (dříve také systém Ramotherm) nebo produkty Vapis od H+H Group.

2.3. Betonové tvárnice

Výrobky z hutného betonu se vyznačují vysokou pevností a hmotností. To ovšem brání v použití větších prefabrikovaných částí při ručním zdění. Z tohoto důvodu a pro svou poměrně vysokou tepelnou vodivost začaly vznikat betony lehké s objemovou hmotností do 2 000 kg/m³. Díky tomu dnes betonové zdivo dokáže držet krok s veškerými požadavky na stavby.

U lehčených betonů je objemová hmotnost snížena nahrazením kameniva lehkými materiály nebo zvýšením množství vzduchových pórů pro vznik tzv. mezerovitého betonu. Takto vylehčené směsi se dělí na mezerovité lehké betony, hutné lehké betony, pěnobetony a pórobetony. [66]



Obr. 32: Zleva hutný lehký beton, mezerovitý lehký beton, pěnobeton a pórobeton [68]

V minulém století se často pro vylehčení užíval popílek a škvára. V Evropě se dnes nejčastěji setkáváme s betonovými tvárnicemi lehčenými například kermazitem, známým pod značkou Liapor. Jedná se o lehké, pevné a voděodolné keramické granule vznikající vypalováním kvalitních jílu. Lehký hutný keramzitbeton má běžně objemovou hmotnost nad 1 000 kg/m³, kdež to mezerovitý keramzitbeton do 1 000 kg/m³. [66] [67]

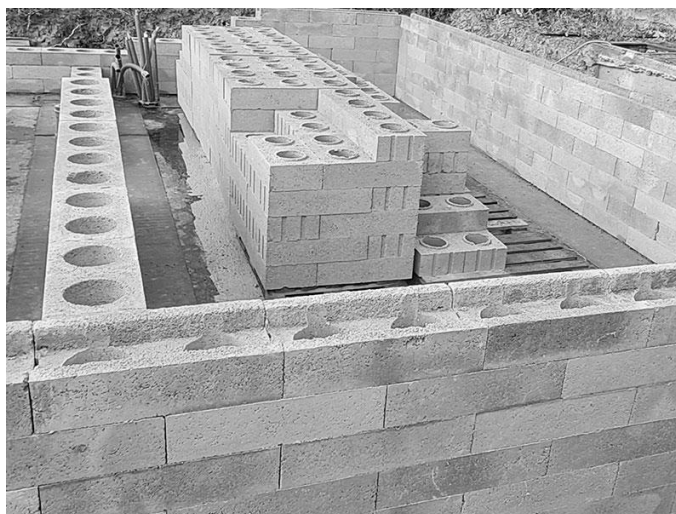


Obr. 33: Příklady keramzitbetonových tvárníc [69] [70]

Dalším často využívaným materiálem pro vylehčení betonových výrobků je perlit, přirozeně se vyskytující vulkanické sklo. Takto vzniklé prvky se využívají ale především pro tepelnou ochranu staveb, jejich objemová hmotnost se totiž pohybuje pouze kolem 500 kg/m^3 . V zahraničních státech bohatších na sopečnou půdu se pro vylehčení využívá například drcená láva a pemza. [71]

Druhou variantou vylehčení hutného materiálu je snížení množství nebo úplné vynechání menší frakce kameniva, tzv. mezerovitý beton. Cementová kaše obalí větší kamenivo a během hutnění se hmota spojí, ale zanechá malé vzduchové mezery. [68]

Pěnobeton se vyrábí pouze z pěny, cementu a vody, kdy jeho využití na stavbě se omezuje především na výplňovou funkci. Při vyšší objemové hmotnosti je vhodné použití i pro staviva u nízkých staveb. Malá česká firma Staleform nabízí specifické tvárnice od pevnosti 3 MPa připomínající svým tvarem lego. Prvky jsou kladeny na sucho a přesnost a stabilitu vyzdívání zajišťují zámky. [68] [72]



Obr. 34: Příklad realizace z pěnobetonových tvárníc Staleform [72]

Známým výrobcem betonových tvárnic je firma BS Group. Ta kromě lehčených tvárnic vyrábí také betonové cihly těžké nebo z liaporbetonu o rozměrech 65x140x290 mm nebo zmenšené 65x120x240 mm. Cihly z těžkého betonu jsou výrazně únosnější a jsou určeny pro mechanicky namáhané a nadměrně zatěžované štíhlé konstrukce. [73]



Obr. 35: Výrobky BS Group s.r.o. Klatovy, zleva cihla velká z liaporbetonu pevnosti P3 a cihla malá z hutného betonu pevnosti P10 [fotka autora]



Obr. 36: Lehčené tvárnice BS Group s.r.o. Klatovy bez a s integrovaným zateplením z EPS [74]

2.4. Pórobetonové tvárnice

Tento přímo lehčený stavební materiál se u nás v posledních letech těší velké oblibě. Díky své lehkosti a tepelněizolačním schopnostem je vhodný pro nižší stavby, především rodinné domy a zároveň je často využíván jako výplňové zdivo skeletových železobetonových konstrukcí. Jeho přednost také spočívá ve snadném řezání přímo na stavbě a izotropních vlastnostech. Výrobky jsou dostupné v o něco větších rozměrech, než je tomu u keramiky a vápenopísku. Pórobeton se vyznačuje nižší hmotností a umožňuje tak práci s většími prvky. Tvárnice o stejných rozměrech jako keramická je zhruba o polovinu lehčí.

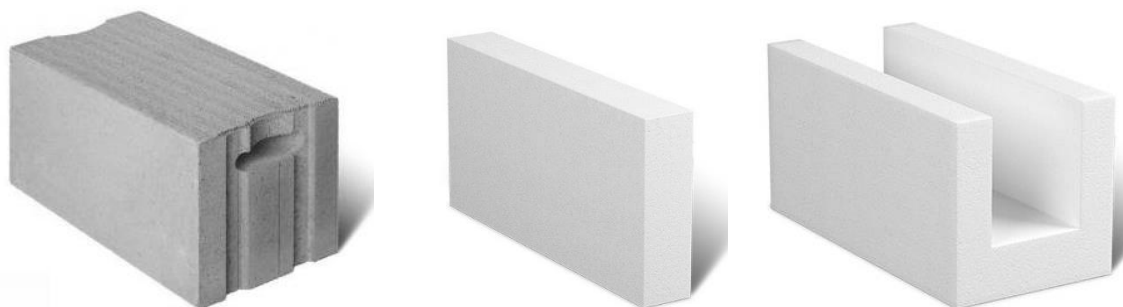
Nejčastější výrobní délka tvárnic je 599 mm. Se zvyšující se tloušťkou či objemovou hmotností je délka zmenšena na 399 mm nebo 499 mm. Skladebná výška je v násobcích 250 mm stejně jako u jiných materiálů. Výjimkou jsou výrobky Hebel výšky 199 mm. Šířky výrobků jsou vždy násobky 25 mm v rozsahu 50 – 500 mm. Výrobci nabízejí především hladké stěny s nutností maltování styčných spár, případně pro větší tvárnice jsou do boků pro snadné uchopení vydrážkovány kapsy. Na trhu lze najít i systémem pero-drážka o délkách tvárnic 625 nebo 500 mm (H+H). [75]

Pórobeton vznikne smícháním rozemletého křemičitého písku (příp. popílku), vápna, cementu, vody a hliníkového prášku, zastávající plynotvornou funkci. Ve velkých formách se nechá směs asi 4 hodiny nakynout. Během této doby vzniknout typické bublinky plynného vodíku a materiál se stává po zatvrdnutí vysoce porézním. Po zatvrdnutí je možné kvádr nařezat ocelovým drátem na požadované rozměry. Dále se převeze do autoklávu, kde při 190°C a tlaku 11 bar získá svou pevnost. Po vychladnutí a prověření jakosti se jednotlivé palety zabalí a označí. Například ve výrobě Xella CZ v Chlumčanech se takto vyrobí asi 1 000 palet tvárnic denně. Proces výroby je prakticky ve všech výrobnách plně automatizovaný od míchání směsi po zabalení. [exkurze autora]



Obr. 37: Autoklávové pece [76]

Povědomí ve světě o vylehčeném materiálu rozšířily především produkty Ytong, dnes pod záštitou Xella Group. Postupem času se přidávali další světový výrobci jako H+H Group, JK Lakshmi Cement, UAL Industries nebo UltraTech Cement. V našich končinách potom Porfix. [77]



Obr. 38: Příklady pórobetonových výrobků na trhu, zleva šedá pórobetonová nosná tvárnice z popílku s kapsami, bílá tvárnice pro příčky, U profil pro překlady a věnce [75]

2.5. Kámen

Nejstarší stavební materiál si v oblasti výstavby budov užívá zaslouženého odpočinku. Použití pro běžnou stavbu je finančně nákladné, vlastnosti přírodních kamenů jako žula, opuka nebo vápenec nejsou již vhodné k výstavbě a jejich použití se orientuje především na rekonstrukce, vodní díla, zakládání a opěrné stěny. V této oblasti je tíha materiálu hlavní předností a často se tak můžeme setkat se zděnými nebo gabionovými stěnami podél svahů. Gabiony jsou v podstatě tvořeny ztraceným bedněním většinou z pletiva vysypaného kameny různých velikostí a opracování. Vzhledem k malému využití došlo prakticky ke stagnaci vývoje technologie zdění z kamene.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Obr. 39: Příklady kameniva pro gabionové stěny (a) čedič, (b) andezit, (c) žula kulatá, (d) žula kostky, (e) křemenec [78]

3. Tendence a trendy ve vývoji zdiva

V posledním století došlo díky zkvalitnění životní úrovně k nevídanému nárůstu populace a tím i spotřeby zdrojů. Ta souvisí i s průmyslovým rozmachem a rozvojem techniky. V posledních letech si stále více lidí uvědomuje dopad dosavadního způsobu využívání neobnovitelných a obnovitelných zdrojů, a tak započala snaha zvrátit dosavadní trend.

Na úrovni celoevropské politiky dominuje úsilí o snížení energetické náročnosti budov od výroby přes provoz až po recyklaci. Na toto konto Evropská komise aktualizuje nařízení a normy, vyžaduje podrobnější technické specifikace stavebních výrobků a různými prostředky tlačí spotřebu energie do nižších čísel. Tlak v těchto oblastech je postaven na statistických úbytcích energetických zdrojů a nárůstu populace a spotřeby. Stavební průmysl stojí za 40% spotřeby celosvětové energie a za jednou čtvrtinou vzniklého odpadu na planetě. Energie je spotřebována na výrobu prvků, výstavbu, vytápění, chlazení, větrání, osvětlení, ohřev vody i následnou demolicí. [6]

Tyto skutečnosti tlačí výrobce a stavitele k přizpůsobení se nadcházejícím nařízením, poptávce a zároveň poskytuje možnost nabídnout zákazníkům nadčasové produkty pro zvýhodnění na trhu. [50]

Využívání zdrojů není možné zastavit, ale cílem do budoucna je nalezení takových technických a technologických řešení, která jejich úbytek sníží na minimum. Proto je dnes jako jeden z hlavních cílů u stavebních výrobků možnost jeho recyklace případně snížení dopadu na životní prostředí při likvidaci. To je nově zahrnuto v požadavku na zajištění trvale udržitelného rozvoje. V rámci nově legislativně prosazovaného požadavku bude přísněji posuzována i energetická náročnost stavby během provozu. K tomu bude velkou měrou přispívat použitý materiál zdiva a jeho tepelně izolační schopnosti. [79]

Na trh se neustále dostávají nové výrobky se stále vyšším tepelným odporem. Vytvářejí se nová složení keramického střeptu, nové způsoby lehčení betonu a efektivnější tvary dílců ve smyslu zabránění přenosu tepla. To vše je limitováno použitou technologií. [62]

Mezi nejmladší přírůstky zděných konstrukcí patří dutinové tvárnice vyplněné tepelně izolačním materiálem. To vše je reakce na zpřísnování požadavků. Za posledních 50 let byl požadavek na součinitel tepelné vodivosti zpřísněn asi šestkrát. V tomto směru již bloky dosahují úctyhodných výsledků, ale je třeba řešit detaily, kterými vůči celkovému poměru uniká velké množství tepla. Proto se výrobci v posledních letech zaměřují i na řešení typických míst jako překlady, věnce nebo základy. Lze tedy do budoucna předpokládat stále nová řešení. [62]

Trendem do budoucna u objektů bytové a občanské vybavenosti je především růst do výšky. Omezí se tím zabírání úrodných polí, potřebných lesů a luk. U těchto staveb se v současnosti využívá především materiálů jako ocel, železobeton a sklo. Zdící prvky, pokud jsou využity, plní spíše výplňovou funkci. Vývoj zednického řemesla bude mít tedy především vliv na poli obytných budov. [80]

Dalším problematickým aspektem stavebního průmyslu je nedostatek pracovní síly. Ve většině průmyslů je již robotická výroba hojně zastoupena. Technologický pokrok se v některých státech prosazuje konečně i ve stavebnictví, přesněji při

zdění. Díky vývoji výpočetní techniky a automatizace můžeme již pár let na zahraničním trhu najít poloautomatické zednické roboty, kteří mohou do budoucna zastoupit monotónní zednické práce s vyšší rychlostí a přesností. [81]



Obr. 40: Poloautomatický zednický robot od společnosti Construction Robotics [82]

Stavební průmysl má i po velkých změnách za poslední dvě století stále prostor k obrovskému rozvoji. Jedná se o jedno z nejméně pokročilých a efektivních průmyslů a aktuálně se nachází v přechodném období doby digitální. Při rychlosti aktuálního světového pokroku se technologie stavění mohou během následujících dvou desetiletí změnit k nepoznání.

4. Charakteristiky dnešního zdiva

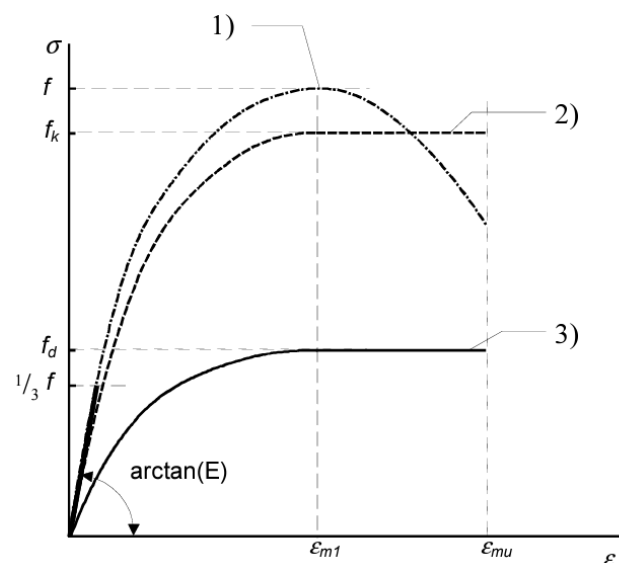
Dnes využívané zdící prvky se vyznačují především svou univerzálností. Jsou odolné vůči požáru, klimatickým podmínkám, dosahují dobrých tepelně technických i akustických vlastností, nabízejí možnost recyklace a prokazují vysokou životnost. Vyznačují se také poměrně velkou pevností v tlaku. Dle požadavků na stavbu se lze zaměřit na jednotlivé vlastnosti, které od konstrukcí očekáváme. Zděné konstrukce volíme v případě vyloučení většího namáhání zdiva ohybem (tahem) nebo tlakem působícím rovnoběžně s ložnými spárami. Jeho pevnost je v takových případech násobně menší než při běžném tlaku. [83]

4.1. Mechanické vlastnosti

Pro konstrukčně-statický návrh stavby je jeden z nejdůležitějších parametrů pevnost zdiva. Na výslednou pevnost celku má vliv jak volba zdícího prvku, druh

malty a tloušťka použité vrstvy, tak dodržení převazby. Malta kromě spojení jednotlivých prvků vyrovnává lokálně působící zatížení a chrání také zdivo před vniknutím atmosférických vlivů. V případě zvolení novějšího postupu výplně spár, tedy promaltování v tloušťce do 3 mm, se pevnost malty z výpočtu charakteristické pevnosti zdiva vypouští. Koreluje to s malým vlivem na výslednou pevnost. Určitou měrou je tato skutečnost zohledněna v následných výpočtech. [83] [1]

Chování zdiva během zatížení popisuje pracovní diagram. Představuje vztah mezi tlakovým napětím σ [Pa] a poměrným přetvořením ε [m].

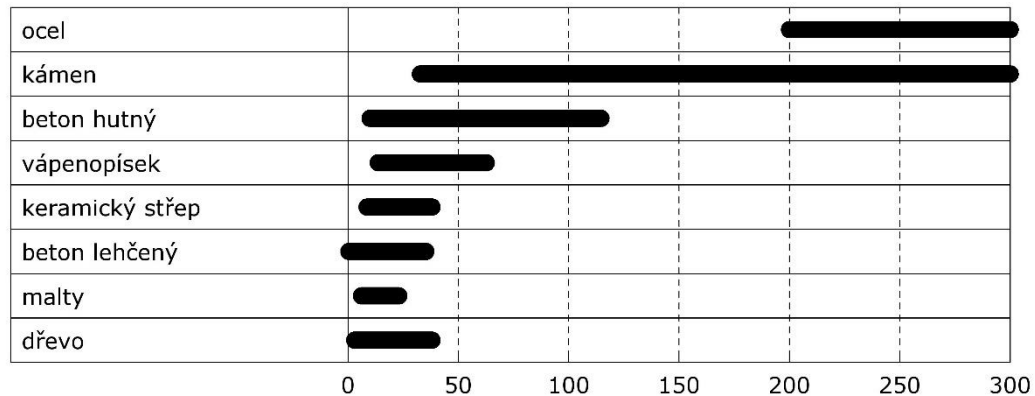


Graf 2: Pracovní diagram zdiva namáhaného tlakem – 1) skutečný, 2) idealizovaný, 3) návrhový [84]

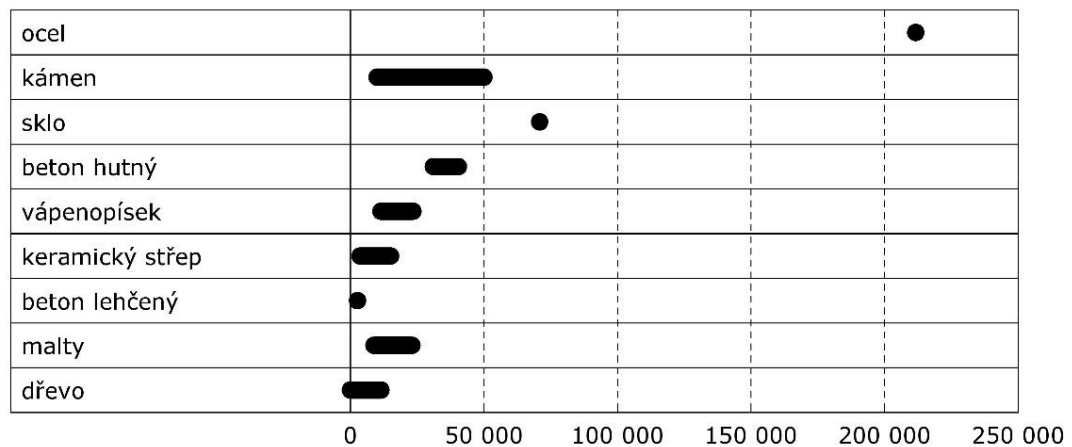
Idealizovaný průběh je využíván k výpočtu charakteristických hodnot pevnosti a návrhový pro návrhové hodnoty pevnosti.

V následujícím grafickém znázornění jsou porovnány mechanické vlastnosti několika nepoužívanějších stavebních materiálů nejen pro zdění. Vyplývá z nich zjevná přednost použití ocelových konstrukcí, které jsou několika násobně pevnější a jsou schopny odolávat velkým namáháním bez trvalé deformace. Tyto výhody se však uplatní především u výškových staveb nebo při požadavku rychlé výstavby. Vylehčením betonových výrobků se snižuje jejich únosnost, keramické zdící prvky jim tak mohou v této rovině konkurovat. Jak již bylo řečeno, zlepšují se tak ale tepelně technické vlastnosti, což je čím dál více ve společnosti žádané. U různého sortimentu zdiva se tedy můžeme setkat s podobným rozsahem

nabízených pevnostních tříd. Vzhledem ke konkurenčním bojům jsou obecně vlastnosti zdících prvků téměř srovnatelné.



Tab. 1: Výpočtová pevnost v tlaku vybraných stavebních materiálů v MPa [autor]



Tab. 2: Modul pružnosti vybraných stavebních materiálů v MPa [autor]

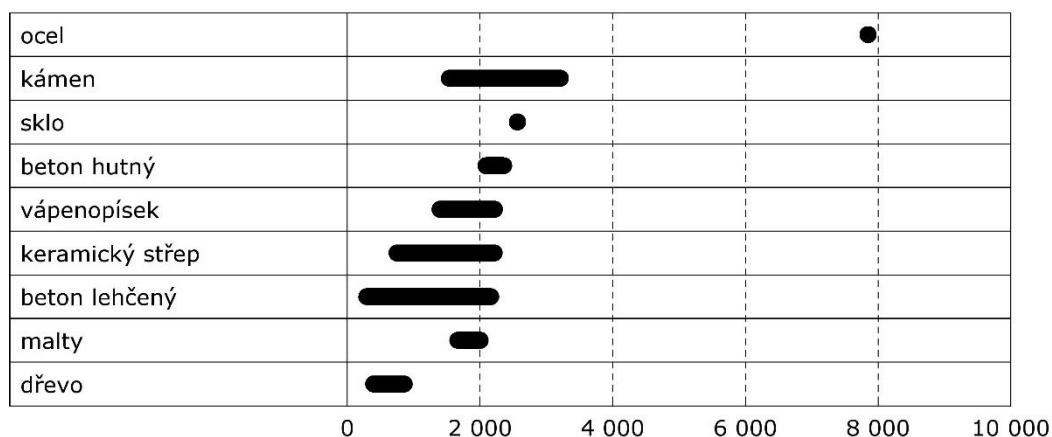
Mechanické vlastnosti materiálů jsou ovlivnitelné fyzikálním působením okolního prostředí. Značný vliv na stavební materiály má například vlhkost nebo změny teplot, které způsobují různou dilataci prvků. Extrémním případem působení teploty je pak požár, kterému většina zdících prvků obstojně odolává.

4.2. Fyzikální vlastnosti

Zvýšením obsahu vlhkosti se zvyšuje objemová hmotnost materiálu dle jeho nasákavosti. Změna teplot má pak vliv na dilatační pohyby materiálů. Na tyto parametry je třeba myslet při volbě stavebního materiálu nebo při zabudování do stavby. Zdící prvky jsou odolné vůči teplotním změnám, ale jsou poměrně nasákavé. Výrobci tak udávají vlastní doporučení na zacházení s výrobkem na

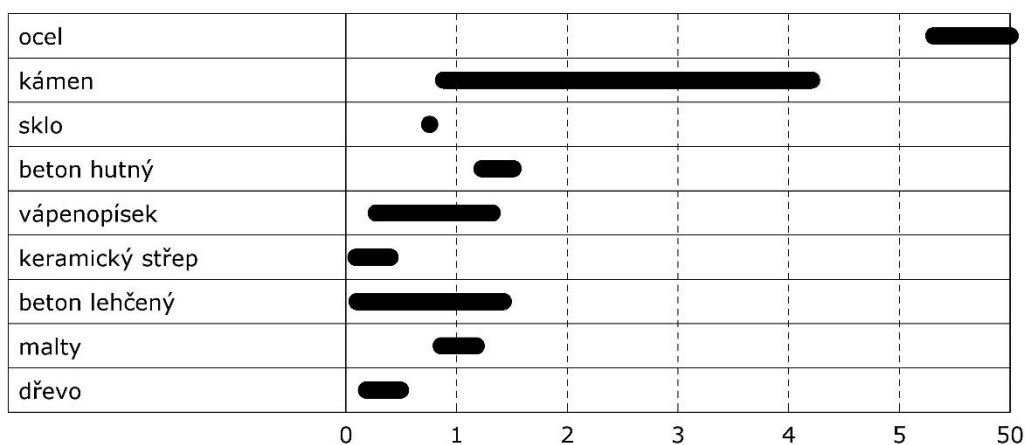
stavbě a někteří nabízejí i speciální zakládací impregnované tvárnice pro zamezení vzlínání vlhkosti do zdiva.

Důležitým parametrem staviva je jeho objemová hmotnost. Dle obrázku níže a porovnáním s uvedenými pevnostmi lze odvodit její vliv na samotnou pevnost materiálu.



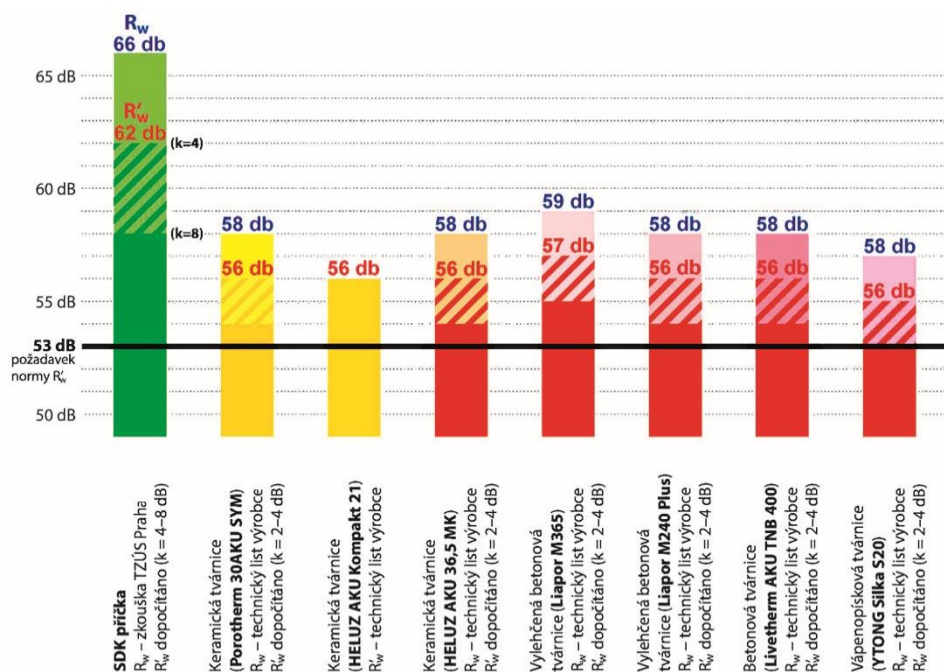
Tab. 3: Objemová hmotnost vybraných stavebních materiálů v kg/m^3 [autor]

Objemová hmotnost se snižuje s pórovitostí materiálu, což ovlivňuje i schopnost zamezit prostupu tepla. Jinak řečeno, se zvyšující se objemovou hmotností se zvyšuje i součinitel tepelné vodivosti. Zdicí výrobky jsou tak ideálním kompromisem pro menší stavby nebo výplňové plochy. Se stávajícími požadavky je u drtivé většiny zdicích prvků přesto nutná dodatečná tepelná izolace. Proto jsou z finančních i časových důvodů preferované již z výroby plněné tvárnice tepelným izolantem. [79]



Tab. 4: Součinitel tepelné vodivosti vybraných stavebních materiálů v $\text{W/m}^2\text{K}$ [autor]

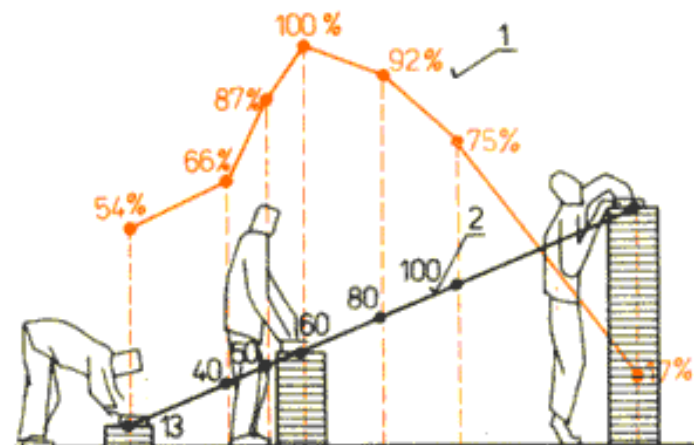
Mezi jeden ze základních požadavků na stavby patří i akustická odolnost. Svislé obvodové konstrukce chrání především vnitřní prostor proti vniknutí akustického tlaku z vnějších exteriérových zdrojů hluku či ze sousedního interiérového prostoru. Výrobci samotných prvků většinou deklarují jejich váženou laboratorní neprůzvučnost, ta je ovšem měřena bez vlivu netěsností, prostupů a drážek. Při výpočtu vážené stavební neprůzvučnosti je tento rozdíl vyjádřen korekcí 2 až 8 dB dle materiálového řešení konstrukce. Právě již uvedená objemová hmotnost stěny má největší vliv na schopnost absorbovat akustický výkon. Dále závisí na dynamickém modulu pružnosti v tahu za ohybu, přičemž se snižujícím se modulem neprůzvučnost stoupá. Díky této skutečnosti se lehké sádkartonové příčky vyplněny minerální vatou mohou rovnat i těžkým konstrukcím. [85] [86]



Obr. 41: Porovnání laboratorní a stavební vzduchové neprůzvučnosti vybraných stavebních materiálů pro mezibytové stěny v dB [86]

5. Technologie zdění

Jedna z nejstarších technik stavění si zachovala svou podobu prakticky do dnes. Při zdění se vždy jedná o kladení jednotlivých prvků do soudržné struktury. Proměnné jsou při tom stavivo, způsob jeho kladení a pojivo. Pro zvýšení kvality a rychlosti zdění prošla každá složka určitým vývojem, ale do doby, kdy stroje nahradí rutinní práci je efektivita a přesnost závislá na lidské činnosti.



Obr. 42: Vliv výškové úrovně zdění na produktivitu práce – 1 křivka produktivity, 2 výška zdiva [87]

Se zvyšující se velikostí prvků a rychlým nanášením pojiva lze hrubou stavbu rodinného domu bez základové konstrukce postavit za dva dny práce. Velkou měrou k tomu přispěl i vývoj malt.

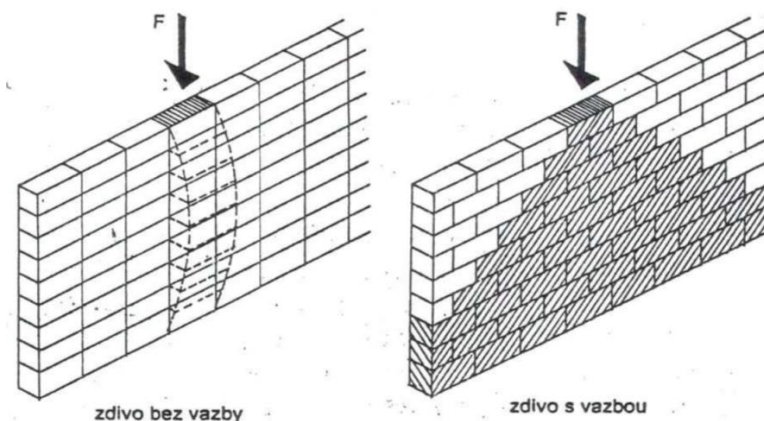
Pro zdění jsou dle EC6 rozděleny malty do tří skupin:

- obyčejná malta
- malta pro tenké spáry (ložné spáry 0,5 až 3 mm)
- lehká malta (600 až 800 kg/m³ a 801 až 1500 kg/m³)

Novým trendem pro malé stavby z broušeného cihelného zdiva se stala zdící pěna. Jedná se o jednosložkovou polyuretanovou pěnu nebo lepidlo. Tento způsob pojení přinesl velké snížení pracnosti a eliminaci tepelných mostů mezi jednotlivými prvky, a však v odborných kruzích se o této metodě vedou spory. Materiál nedostatečně kompenzuje nerovnosti mezi vrstvami a výrazně snižuje únosnost zdiva. Přesto je u malých staveb výrobcem deklarována únosnost s dostatečnou rezervou. Co se týče zdění na sucho, to zůstalo dominantou starověkých civilizací. I když se s ním dnes můžeme setkat, jedná se spíše o menší nevýznamné stavby.

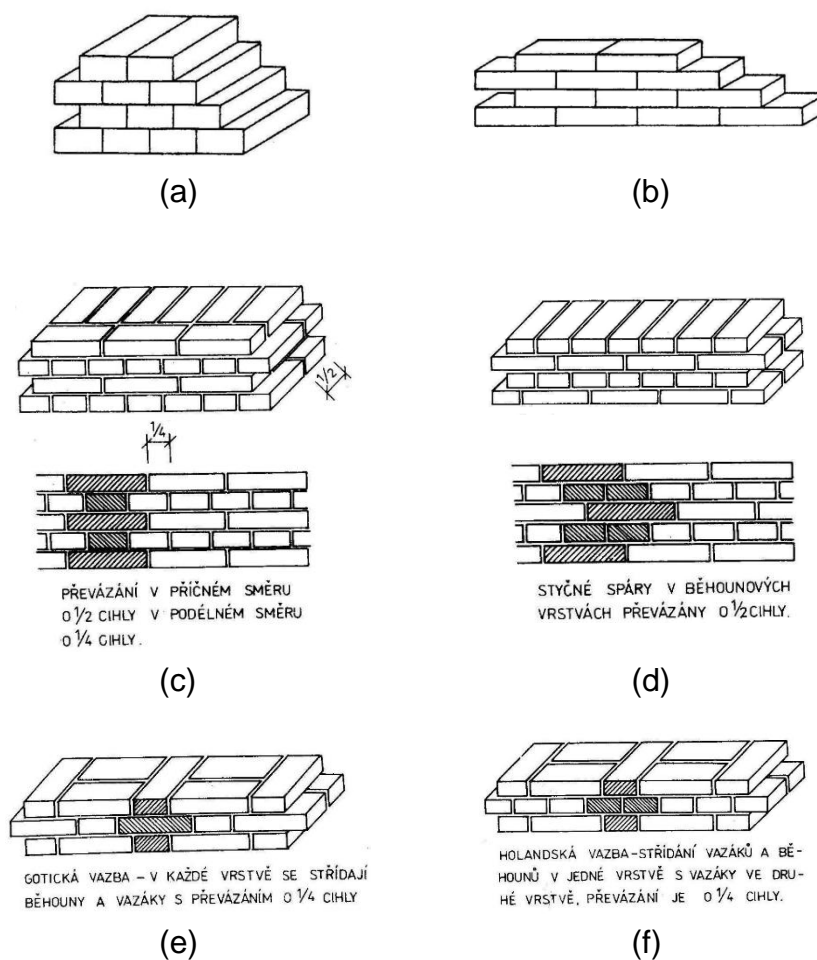
Vazby zdiva dle staviva

Od počátku užívání kusového staviva bylo známo, že pro větší únosnost a správné fungování zdiva je nutné jednotlivé prvky klást do vazby. Až později byl však způsob roznášení zatížení ve zdivu podložen matematicky.

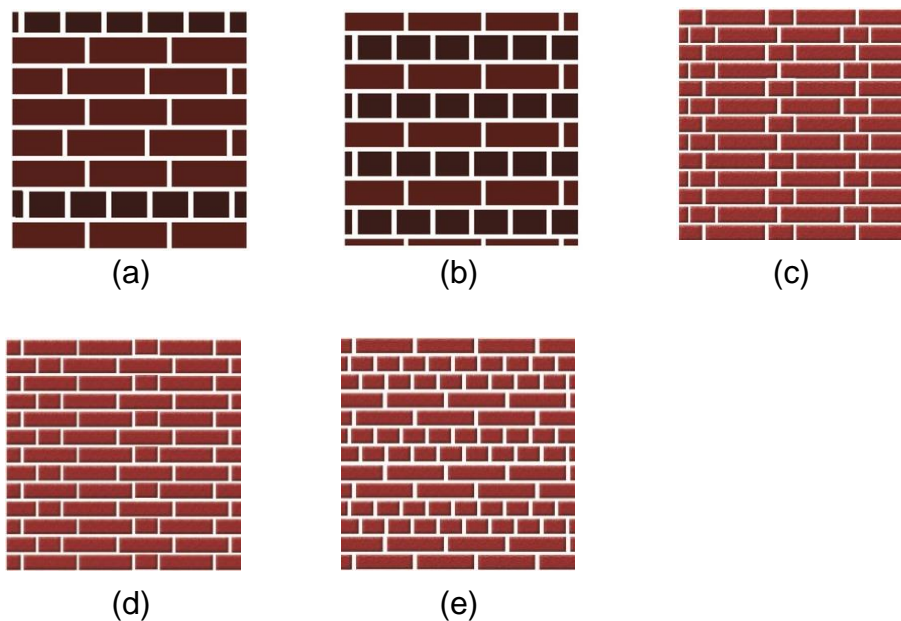


Obr. 43: Znárodnění přenosu zatížení ve zdivu [88]

V různých koutech světa vznikl nespočet různých vazeb, které se využívají do dnes. Některé vazby jsou užívány především pro svůj estetický vzhled. Níže jsou uvedeny tradiční i netradiční cihelné vazby.



Obr. 44: Příklady tradičně užívaných cihelných vazeb (a) vazáková, (b) běhounová, (c) polokřížová, (d) křížová, (e) gotická (polská), (f) holandská [88]



Obr. 45: Příklady zahraničních vazeb (a) americká, (b) anglická, (c) mnišská, (d) vlámská, (e) dvojitá anglická [44] [89]

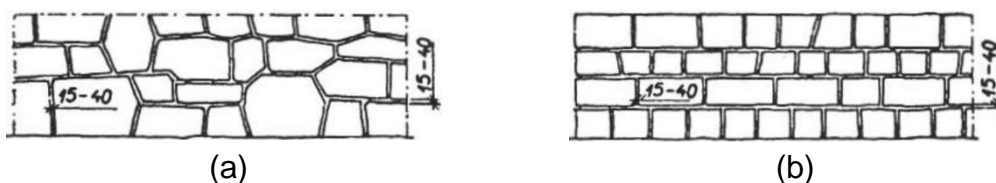
Převazbu je nutné dodržet po délce zdi i v rozích. Právě rohy udávají požadovaný přesah pro celou stavbu. Pro usnadnění a zrychlení výstavby vzniklo několik variant velikostí především cihelného zdiva jako poloviční, tříčtvrteční, čtvrtka nebo pásek (rozpůlená cihla podél).

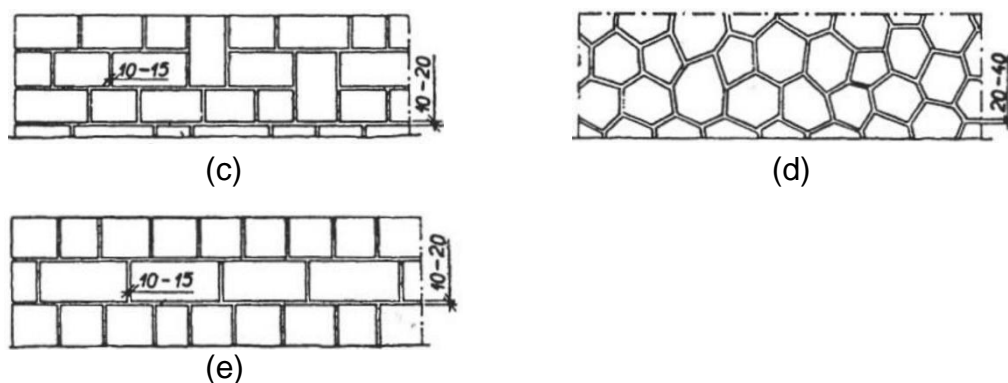
Pro vyrobené zdící prvky jsou dle EC6 stanoveny minimální přesahy takto:

- pro výšku do 250 mm včetně: přesah $\geq 0,4$ násobek výšky nebo 40 mm
- pro výšku nad 250 mm: přesah 0,2 násobek výšky nebo 100 mm

Případně jsou minimální přesahy stanoveny výrobcem, vždy se ale doporučuje zvolit větší z hodnot.

Kamenné zdivo vzhledem ke své rozmanitosti opracování nabízí různorodé varianty kladení, viz Obr. 52. Dnes je voleno především pro svou estetickou funkci a odolnost.





Obr. 46: Příklady vazeb kamenného zdiva (a) z lomového kamene, (b) řádkové, (c) řádkové haklíkové, (d) kyklopské, (e) kvádrové [90]

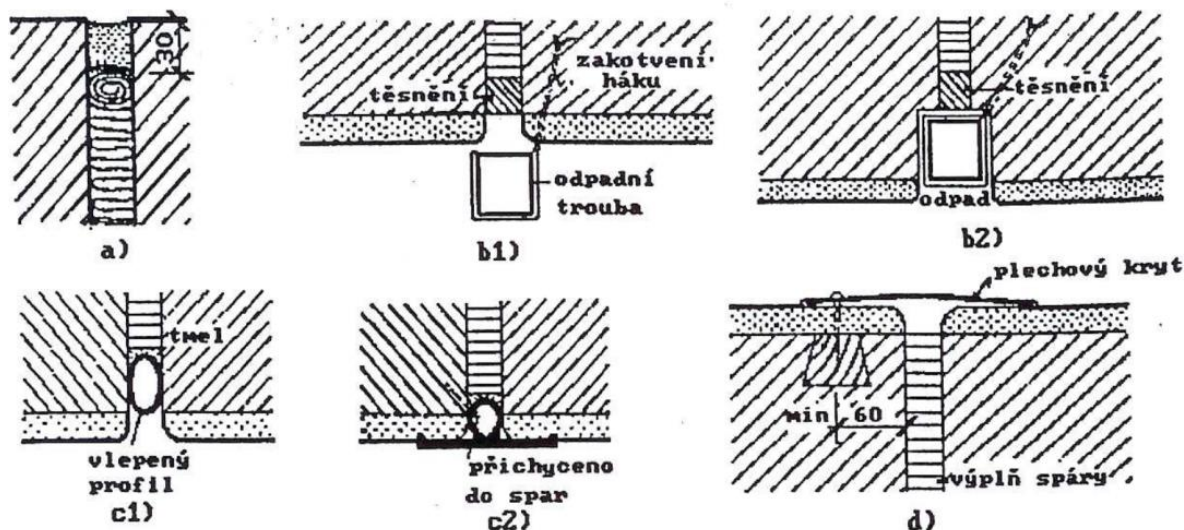
Dilatace

Jako preventivní opatření před vznikem trhlin a větších poruch jsou i pro zdivo doporučené dilatační spáry. Ty poskytují možnost pohybu dilatačního celku z důvodu objemových změn, sedání či smršťování. Vždy však závisí na zvolených materiálech a druhu konstrukce. Do roku 2010 v rámci ČSN 73 1101 byly doporučeny mezní vzdálenosti dilatačních celků pro nosné zdivo. Aktuálně platná doporučení v EC6 se vztahují pouze na nenosné nevyztužené vnější zdivo. Případně jsou dilatace stanoveny samotným výrobcem.

Typ zdiva	lm (m)
Zdivo z pálených zdících prvků	12
Zdivo z vápenopískových zdících prvků	8
Zdivo z betonu a z umělého kamene	6
Zdivo z autoklávovaného pórobetonu	6
Zdivo z přírodního kamene	12

Tab. 5: Doporučené vodorovné vzdálenosti mezi svislými dilatačními spárami dle EC6

Při návrhu větších zděných staveb je vhodné z pohledu dilatace zohlednit i natočení ke světovým stranám či zateplení. Zakrytím tepelnou izolací je zdivo chráněno před ohříváním a udržuje jeho poměrně stálou teplotu. Nehrozí tak objemové změny z důvodu kolísání teploty. Spáry z důvodu rozdílného sedání jsou navrhovány ze stejných důvodů jako u jiných systémů, tedy nesourodá základová půda, různé zatížení sousedících budov, nová přístavba ke stávající zástavbě, a tak dále.



Obr. 47: Detaily řešení dilatačních spár [91]

Ztužení

Zděné nevyztužené stavby je třeba prostorově zpevnit. Před zavedením železobetonu stavitelé využívali k zachycení vodorovných sil ve stavbě zedních kleštín se závlačí a táhlem. Kleštiny byly využívány především podél dřevných trámových stropů, které nezajišťovaly dostatečnou tuhost. Závlač se kotvila na líc nebo v tloušťce zdiva a byla nejčastěji upevněna na zhlaví trámů. Případně se kotvila na ocelové táhlo, které vedlo uvnitř nosných stěn přes délku stavby. Finančně nákladná ocelová táhla nalézáme častěji u významnějších staveb zachycující síly z kleneb. Lze se setkat i s levnou variantou, kdy se dřevěným trámům ponechala neopracovaná zhlaví.

Tuto funkci dnes nahrazuje železobetonový pozední věnec veden nad vnějšími a vnitřními nosnými stěnami v úrovni stropu. Ten je schopen zajistit prostorovou tuhost budovy, přenášet vodorovná zatížení od větru a střešní konstrukce, zachytit nerovnoměrné sedání a eliminovat excentrické zatížení.

6. Vývoj zásad navrhování zdiva

Postupem historického vývoje prošly metody navrhování úpravami tak, aby konstrukce vyhověly všem aktuálním požadavkům provozu, byly bezpečné, únosné a v průběhu času i hospodárné. Do poloviny 19. stol. se veškeré nejen zděné konstrukce po celá tisíciletí dimenzovaly na základě empirických vztahů a dle zkušeností stavitele předávané z generace na generaci. [38] [95]

Minulé století však přineslo nový pohled na navrhování stavebních konstrukcí a ve světě mechaniky vzniklo několik výpočetních metod. První rozšířenou byla metoda dovolených namáhání, která přesně stanovuje průměrná a maximální zatížení, kde vlastnosti materiálu jsou poníženy součinitelem bezpečnosti. Nejsou tak ovšem zohledněny nejistoty v systému. Oproti tomu stála metoda zahrnující plastické chování konstrukce, tedy její odezvu při zatížení, tzv. metoda návrhu podle stupně bezpečnosti. Stupeň bezpečnosti zde představuje naopak navýšení působícího zatížení a výpočet zahrnuje statickou neurčitost a tvar průřezu. [92]

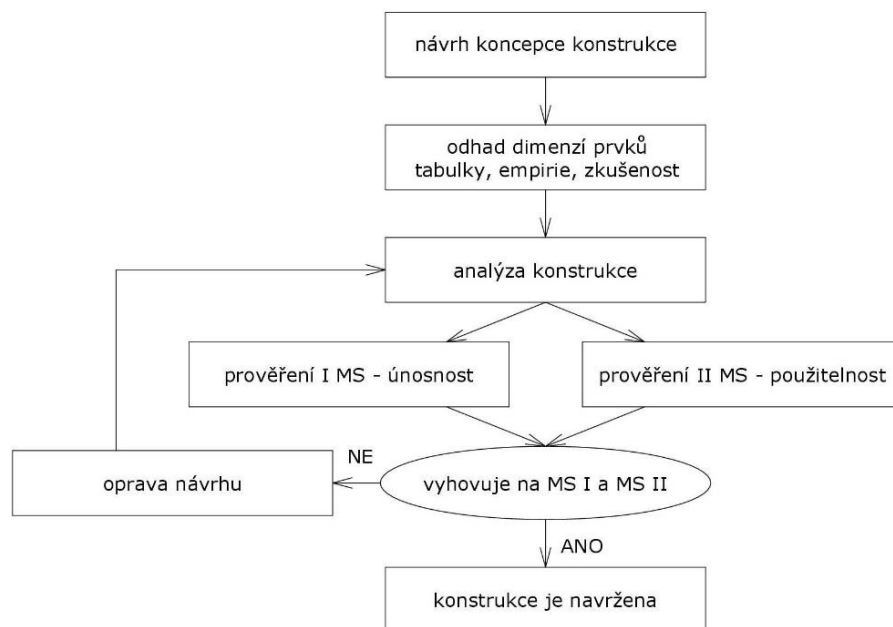
V Praze mezitím roku 1883 vzniká první předpis pro zdění na našem území, který uvádí minimální tloušťky stěn podle podlažnosti. V následujících letech se takové řády vytvářejí i pro další významná města jako České Budějovice, Plzeň a nakonec pro celé království české. Do počátku 20. stol. se tak pro zděné konstrukce využívá deterministických metod navrhování. To dospělo k vytvoření Technického průvodce pro inženýry a stavitele v roce 1915. [38]

Technický přelom na našem území v oblasti navrhování a specifikace stavebních a strojařských výrobků představoval rok 1922, kdy vznikla celostátní nezisková společnost pro všeobecnou normalizaci ČSN. Byla založena a vedena profesními svazy, výrobními podniky, univerzitami a dalšími organizacemi. Vydávané normy nebyly závazné, ale hojně se využívaly. Společnost se také částečně zasloužila o založení Mezinárodní federace normalizačních organizací ISA v roce 1928, kterou v průběhu 50. let nahradila organizace ISO (International Organization for Standardization). V roce 1929 vznikla norma ČSN 1050 – 1929 Zatížení konstrukcí a namáhání stavebních látek. Ta byla zhruba každých deset až patnáct let aktualizována. [93]

Během socialismu vznikl „Úřad pro normalizaci a měření“ pod záštitou státu, dále jsme se ovšem díky odmítnutí převzetí sovětských norem zapojovali do mezinárodního dění v rámci organizací ISO nebo IEC (International Electrotechnical Commission). Kolem roku 1950 pak vznikla řada technických norem zaměřujících se na tehdy využívaná staviva jako voštinové pálené cihly, ohnivzdorné cihly, vápenopískové cihly, plné pálené cihly nebo i lehké betonové tvárnice. [93]

Během 60. let byla v tehdejším SSSR vytvořena statistická metoda mezních stavů, která se rozšířila do celého světa. Po úpravě byla tato metoda v 90. letech převzata do evropských norem pod názvem metoda dílčích součinitelů se zavedením charakteristických hodnot a přiřazeným souborem součinitelů spolehlivosti a kombinačních součinitelů. Teorie spočívá v úpravě jak materiálových charakteristik, tak působícího zatížení na stranu bezpečnosti s ohledem na pravděpodobnost průběhu zatěžování a odezvy konstrukce. [92]

Výstupem je posouzení prvku dle mezních stavů použitelnosti a únosnosti, kde únosnost představuje hranici nevratného kolapsu konstrukce a použitelnost její deformaci. Na Obr. 55 je znázorněn teoretický postup výpočtu dle této metody.



Obr. 48: Postup výpočtu stavebních konstrukcí dle metody mezních stavů [1]

Před navázáním spolupráce s Evropskou unií vešla roku 1981 v účinnost norma ČSN 73 1101 Navrhování zděných konstrukcí jako náhrada za normu z roku 1967, která platila do roku 2010. [93]

Po uzavření dohody již samostatné České republiky s EU, jsme se zavázali k přebírání evropských norem. Postupně tedy nastal přechod na mezinárodní normu ČSN EN 1996-1-1 Eurokód 6: Navrhování zděných konstrukcí, která vešla v platnost roku 2010 a následně byla aktualizována roku 2013. S tím souviselo i převzetí dělení zděných prvků do skupin dle EN 771 – 1 až 6. Do nynějška dochází v platné normě k drobným úpravám korelujících s novými požadavky a trendy moderního stavění. [94]

Praktická část

Experimentální část diplomové práce se věnuje zkouškám tlakové pevnosti pórobetonového zdiva Ytong s provedením různých druhů drážek. Celý experiment byl proveden ve zmenšeném měřítku 1:5. Materiál byl zvolen s ohledem na jeho izotropii a snadné řezání. Pokus byl navržen pro nosné stěny tloušťky 300 mm a nenosné stěny tloušťky 150 mm. V průběhu experimentu bylo bohužel upuštěno od zkoušení příčkového zdiva z důvodu jeho nestability a velice složité manipulace.

Veškeré obrázky, grafy a tabulky nacházející se v praktické části jsou vytvořené autorem diplomové práce, není-li uvedeno jinak.

Eurokód 6

Norma ČSN EN 1996-1-1+A1 stanovuje druh a rozměr drážek a výklenků ve zdivu bez nutnosti statického posouzení stěny:

Tloušťka stěny mm	Drážky a výklenky vytvořené po vyzdění		Drážky a výklenky vytvořené v průběhu vyzdívání	
	Největší hloubka mm	Největší šířka mm	Nejmenší tloušťka stěny po oslabení mm	Největší šířka mm
85 až 115	30	100	70	300
116 až 175	30	125	90	300
176 až 225	30	150	140	300
226 až 300	30	175	175	300
> 300	30	200	215	300

POZNÁMKA 1 Přitom za největší hloubku drážky nebo výklenku se uvažuje hloubka otvorů, které vznikly při vytváření drážky nebo výklenku.
POZNÁMKA 2 Svislé drážky nedosahující výše než do třetiny výšky patra nad stropní desku mohou mít u stěn tloušťky > 225 mm hloubku do 80 mm a šířku do 120 mm.
POZNÁMKA 3 Vodorovná vzdálenost mezi sousedními drážkami nebo mezi drážkou a výklenkem nebo otvorem ve stěně nemá být menší než 225 mm.
POZNÁMKA 4 Vodorovná vzdálenost mezi dvěma sousedními výklenky bez ohledu, zda leží na stejné nebo opačných stranách, a mezi výklenkem a otvorem ve stěně nemá být menší než dvojnásobek šířky širšího výklenku.
POZNÁMKA 5 Součet šířek svislých drážek a výklenků nemá být větší než 0,13násobek délky stěny.

Tab. 6: Dovolené rozměry svislých drážek bez nutnosti ověření stanovené EC6

Tloušťka stěny mm	Největší hloubka mm	
	Neomezená délka	Délka ≤ 1 250 mm
85 až 115	0	0
116 až 175	0	15
176 až 225	10	20
226 až 300	15	25
více než 300	20	30

POZNÁMKA 1 Přitom za největší hloubku drážky se uvažuje hloubka otvorů, které vznikly při jejím vytváření.
POZNÁMKA 2 Vodorovná vzdálenost mezi koncem drážky a otvorem ve stěně nemá být menší než 500 mm.
POZNÁMKA 3 Vodorovná vzdálenost mezi sousedními drážkami omezené délky nemá být menší než dvojnásobná délka delší z nich, bez ohledu na to, zda leží na stejné nebo opačných stranách stěny.
POZNÁMKA 4 U stěn o tloušťce > 175 mm se smí přípustná hloubka drážky o 10 mm zvětšit, pokud bude drážka vyřezána nástrojem přesně na danou hloubku. Tímto nástrojem mohou být vyřezány drážky do hloubky 10 mm z obou stran stěny, která má tloušťku nejméně 225 mm.
POZNÁMKA 5 Šířka drážky nemá být větší než polovina tloušťky stěny v místě oslabení.

Tab. 7: Dovolené rozměry vodorovných a šikmých drážek bez nutnosti ověření stanovené EC6

7. Zkušební vzorky

Zdivo bylo vybráno typu Ytong P3-450 Univerzal tloušťky 300 mm v hladkém provedení s nutností promaltování styčných spár. Jako pojivo byla použita zdící malta Ytong FIX N103 pro tenké spáry. Materiál byl poskytnut z výrobního závodu Xella CZ, s.r.o. v Chlumčanech.

Modely stěn reprezentují reálnou konstrukci stěny o 11 vrstvách tvárnic na výšku a délce 4,5 tvárnice. Výška 585 mm, délka 560 mm a tloušťka 60 mm modelů odpovídá reálnému rozměru stěny o výšce 2 900 mm, délce 2 800 mm a tloušťce 300 mm. Do těchto modelů bylo zvoleno provedení třech typů drážek:

- svislá (90°)
- šikmá (12°)
- vodorovná (0°).

Svislá a šikmá drážka byly provedeny v jedné hloubce a vodorovná v pěti různých hloubkách. Ke každému druhu drážkování byly provedeny dva zkušební vzorky a dva vzorky pro referenční plnou stěnu. Celkem bylo zatíženo a vyhodnoceno 16 vzorků, viz tabulka 8.

Svislá a šikmá drážka by dle předpokladu měli mít nižší vliv na únosnost stěny než drážka vodorovná. Počet vzorků s těmito drážkami je tedy nižší než u vodorovné drážky a pro přidanou hodnotu vychází z reálných situací na stavbách. Pro svislou drážku bylo uvažováno umístění stoupacího kanalizačního potrubí z PVC DN 100 a pro šikmou, vedení přípojovacího kanalizačního potrubí

z PVC DN 75 k souboru zařizovacích předmětů. Skutečná šířka a hloubka drážek byla uzpůsobena velikosti hrdlového spoje na potrubí. Pro potrubí DN 100 tedy byla provedena drážka hloubky a šířky 130 mm a pro DN 75 drážka hloubky a šířky 100 mm.

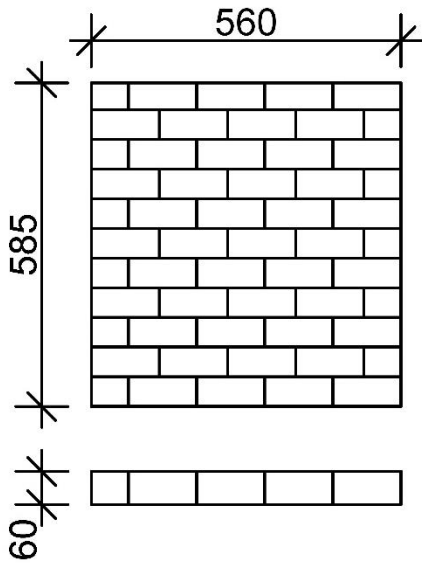
Vodorovné drážky o stejné šířce 100 mm byly provedeny v pěti různých hloubkách. Počáteční hodnota 15 mm o neomezené délce se shoduje s dovoleným provedením dle EC6 bez nutnosti prokázání únosnosti statickým výpočtem. Následujícími zkoušenými hodnotami byly hloubky 50 mm, 100 mm, 150 mm a 200 mm. Jednalo se tedy spíše o zjištění statistického průběhu vlivu hloubky vodorovné drážky na únosnost stěny.

Označení vzorků

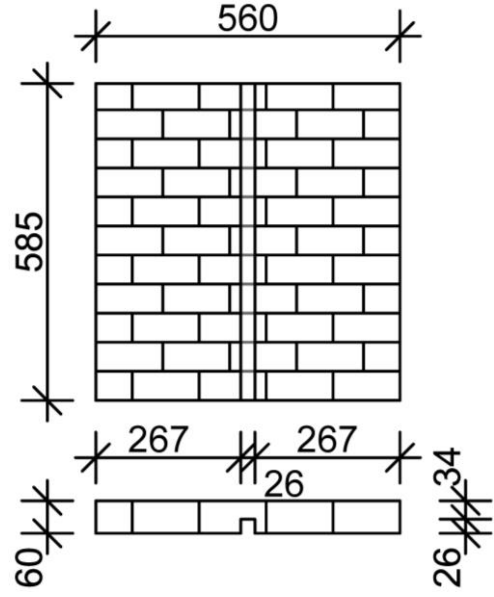
Zkoušené vzorky stěn byly označeny písmenem N, vyjadřující jejich nosnou funkci. Každý vzorek byl označen dvojčíslím, kdy první z číslic představuje typ drážkování a druhé pořadové číslo vzorku.

Vzorek	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Typ drážky	Hloubka/ šířka drážky [mm]
N ₁₁	556	60,5	588	bez	-
N ₁₂	555	60,0	590	bez	-
N ₂₁	558	60,5	591	svislá	26,2/25,9
N ₂₂	560	60,3	584	svislá	26,1/26,0
N ₃₁	555	61,0	585	šikmá	19,9/20,1
N ₃₂	556	61,0	585	šikmá	20,0/20,1
N ₄₁	560	60,1	586	vodorovná	3,2/20,1
N ₄₂	559	60,2	589	vodorovná	3,1/19,8
N ₅₁	554	60,3	585	vodorovná	9,8/20,1
N ₅₂	555	60,0	582	vodorovná	10,0/20,2
N ₆₁	557	60,0	584	vodorovná	20,1/20,0
N ₆₂	555	60,1	585	vodorovná	20,0/19,9
N ₇₁	558	59,5	585	vodorovná	30,1/19,9
N ₇₂	555	60,2	587	vodorovná	30,1/20,0
N ₈₁	555	59,9	580	vodorovná	40,0/20,1
N ₈₂	560	60,0	580	vodorovná	39,7/20,0
Průměr [mm]	556,75	60,23	585,38		

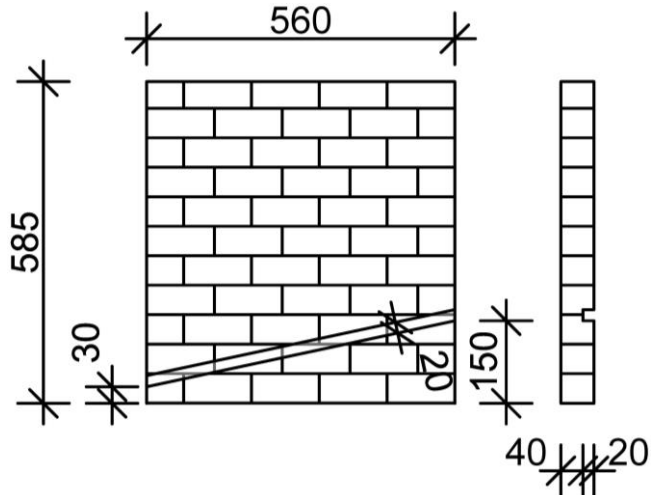
Tab. 8: Geometrické vlastnosti zkoušených vzorků



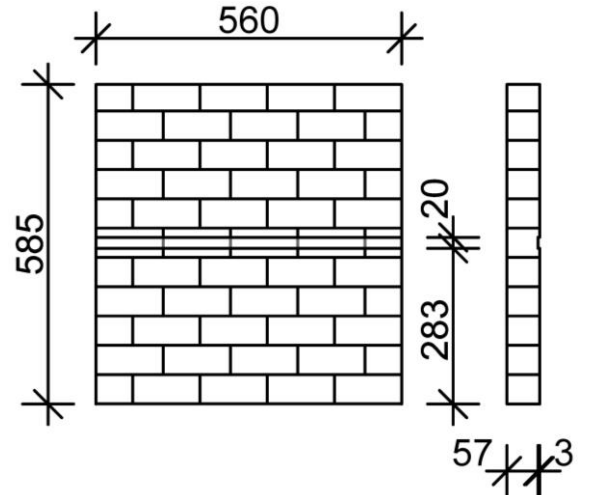
Vzorek N₁



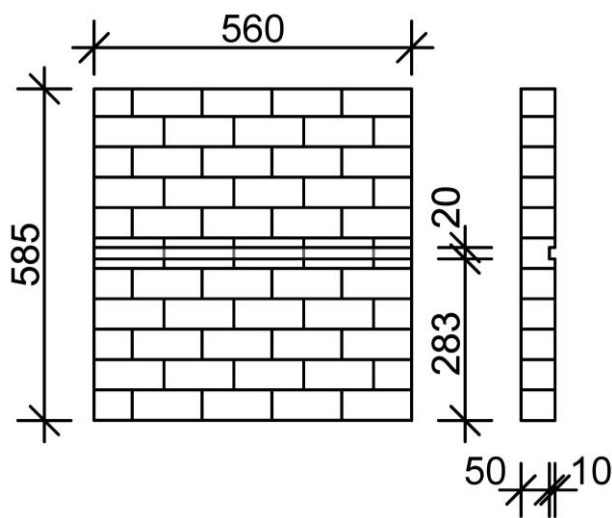
Vzorek N₂



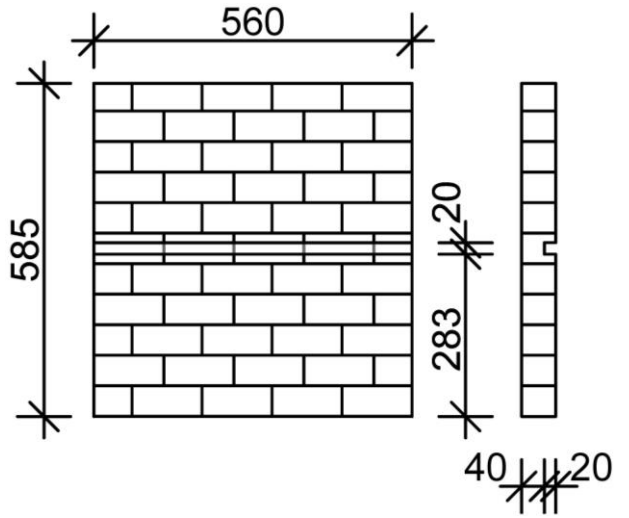
Vzorek N₃



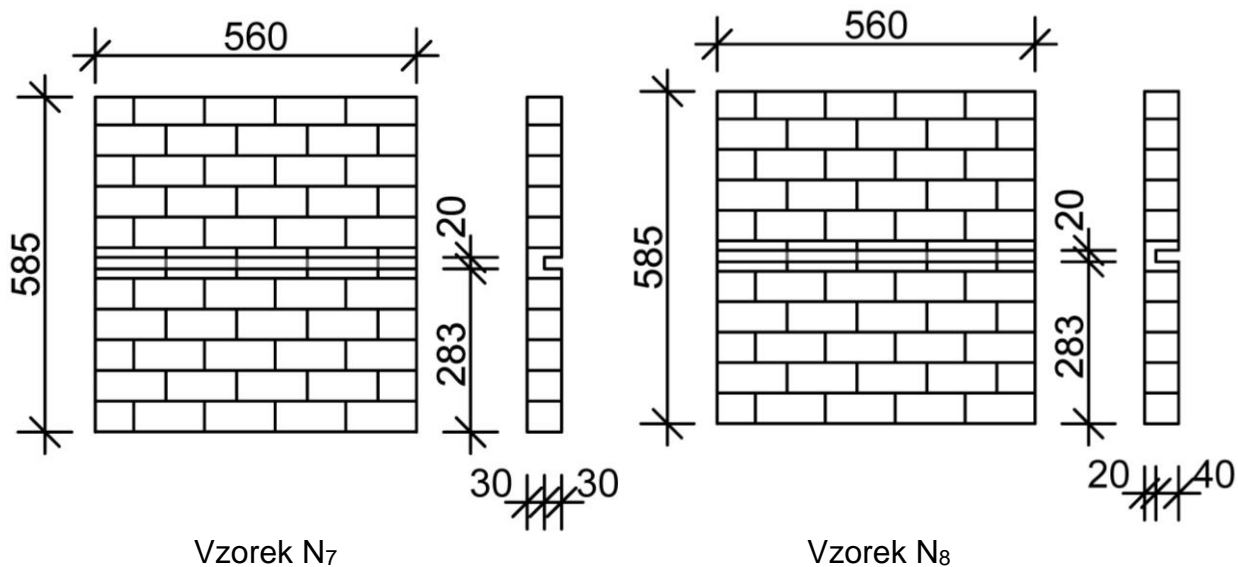
Vzorek N₄



Vzorek N₅



Vzorek N₆



Obr. 49: Grafické znázornění vzorků stěn typu N₁₋₈ v měřítku 1:5

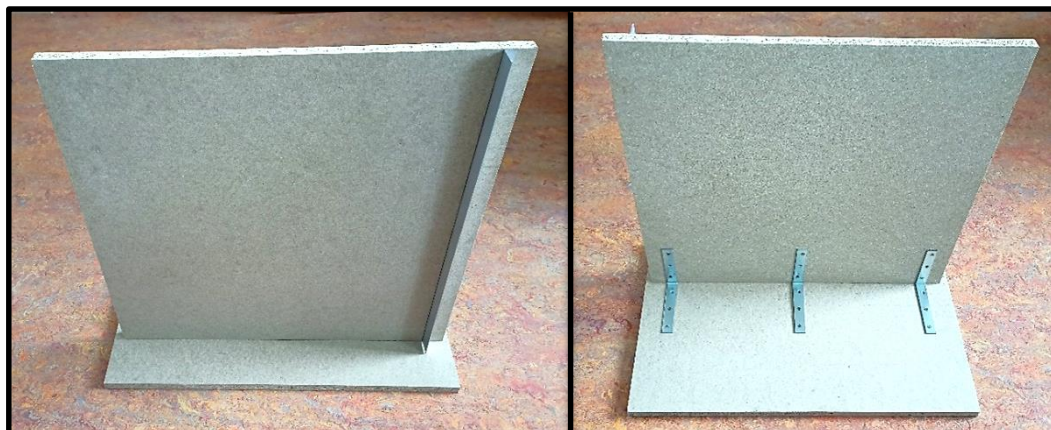
8. Pracovní pomůcky

K nařezání tvárnic v měřítku 1:5 byla použita pásová pila zapůjčená ve výrobním závodu Xella CZ, s.r.o. v Chlumčanech.



Obr. 50: Elektrická pásová pila Ytong

Pro samotné zdění bylo sestaveno bednění z desek, na které se ukotvila z jedné strany hliníková zarážka pro snazší zarovnání strany stěny.



Obr. 51: Bednění sestavené pro snazší držení roviny zdiva

Během zdění byly použity tyto pomůcky:

- kýbl, plastové pravítko rovné a trojúhelníkové, hliníkové pravítko s vodováhou, gumová palička, šuplera, brusné papíry na dřevo, tužka, odměrný válec, košťátko, aku vrtačka, spirálové míchadlo na maltu, ruční pila na dřevo

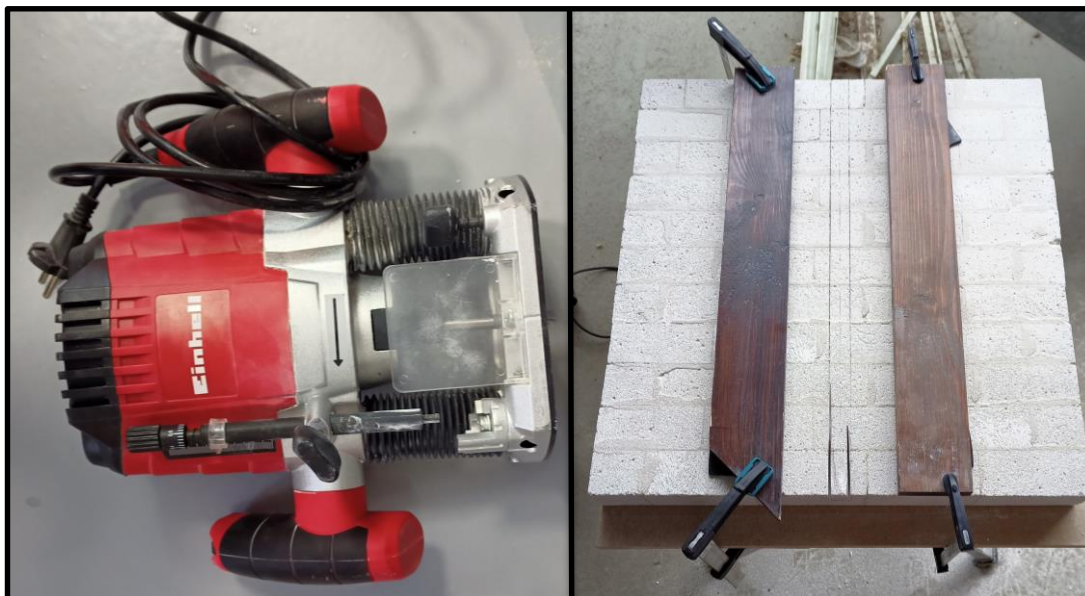


Obr. 52: Ruční nářadí a pomůcky použité při zdění vzorků

Pro manipulaci s hotovými stěnami byly využity desky na bázi dřeva.

Následné drážkování probíhalo na venkovním prostoru za použití těchto pomůcek:

- vrchní frézka na dřevo Einhell, truhlářské svěrky, ochranné pomůcky, přenosný pracovní stolek, šuplera, pravítko, prkna a pryžové podložky pro uchycení stěny



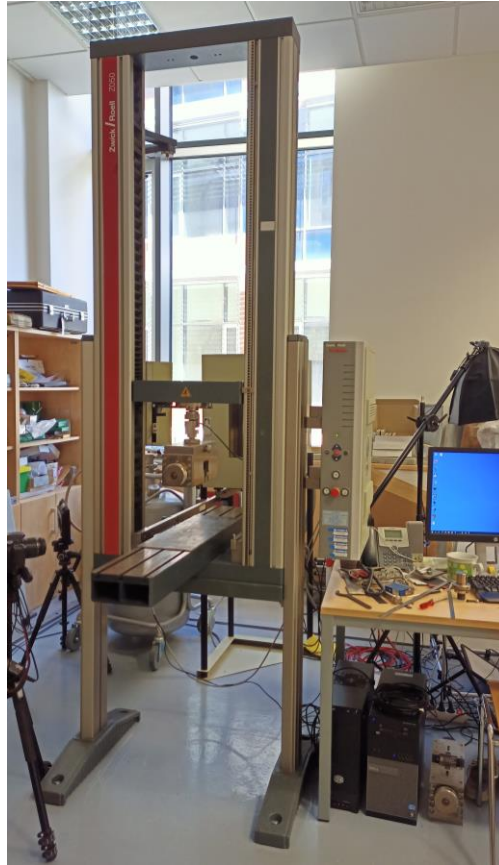
Obr. 53: Ruční nářadí a pomůcky použité při drážkování vzorků

K zatěžování bylo využito:

- lisovací stroj Zwick/Roell Z050 s maximálním silovým rozsahem 50 kN, certifikovaná ocelová kostka



Obr. 54: Zatěžovací ocelová kostka o rozměru 170x170x46 mm váhy 11 kg



Obr. 55: Zatěžovací lis Zwick/Roell Z050

9. Postup experimentu

9.1. Příprava experimentu

Zásadním bodem zkoušek a experimentů je teoretická příprava. Z počátku bylo záměrem provádět zkoušky na dvou typech stěn a to nosné a příčce. Zatěžované vzorky se měli přibližovat reálným podmínkám na stavbách, proto byla zvolena stěna z 11 řad pórobetonových tvárnic odpovídající běžné světlé výšce podlaží. Po zjištění rozměrových možností použitého zatěžovacího lisu a s ohledem na potřebnou manipulaci se stěnami bylo zvoleno modelové měřítko 1:5. Dále bylo rozvrženo množství, druhy a rozměry drážek. Rozměr svislé a šikmé drážky se stanovil s přihlédnutím k jejich četnému výskytu v praxi, tedy niky pro stoupací či větrací potrubí a připojovací potrubí k zařizovacím předmětům nejčastěji dřezům, umyvadlům a myčkám. Horizontální drážka, jakož to nejzásadnější oslabení stěny, byla navržena v odstupňovaných hloubkách (v měřítku 1:1) po 50 mm až do 200 mm (2/3 tl. stěny). Počáteční hloubka 15 mm vymykající se této posloupnosti, byla zvolena z důvodu jejího zakotvení v Eurokódu 6. Pro stěny tloušťky 226 až 300 mm není při hloubce drážky 15 mm a její neomezené délce

potřeba ověřovat únosnost statickým výpočtem. V měřítku 1:5 představuje tato posloupnost hloubky drážek 3, 10, 20, 30 a 40 mm.

Vzhledem k rozměrům plánovaného staviva bylo třeba zajistit dodržení rovinnosti stěny přídatným bedněním. To bylo sestaveno ze dvou na sebe kolmých desek spojených třemi úhelníky. Okraj stěny pak měla zajišťovat svislá hliníková lišta připevněná k desce. Rovinnost bednění byla po každém vzorku kontrolována.

Pro tuto diplomovou práci byla navázána spolupráce s firmou Xella CZ, s.r.o. sídlící v Chlumčanech. Díky tomu byl poskytnut stavební materiál pro provedení experimentu a prostor pro nařezání tvárnic. Vybrané zdivo pro nosnou stěnu Ytong P3-450 Univerzal tloušťky 300 mm v hladkém provedení a Ytong Klasik P2-500 tl. 150 mm pro nenosnou stěnu bylo v měřítku 1:5 nařezáno v prostorách výrobního závodu v Chlumčanech na pásové pile. Pro zdění byla poskytnuta také zdící malta Ytong FIX N103 pro tenké spáry.



Obr. 57: Průběh řezání tvárnic



Obr. 56: Připravené stavivo v laboratoři Fakulty aplikovaných věd na ZČU v Plzni



Obr. 58: Použité pojivo ke zdění

9.2. Realizace stěn

Kvůli možnému přilnutí zadní strany stěny k desce bednění, byla plocha opatřena separační vrstvou. Jednotlivé cihličky byly kladeny a jemně zatloukány gumovou paličkou do tenkovrstvé malty, která byla nanášena i na styčné plochy. Po dokončení každé řady byla provedena kontrola rovinnosti povrchu, případné zabroušení brusným papírem a ometení povrchu pro správné přilnutí malty.



Obr. 59: Celoplošné nanášení tenkovrstvé malty Ytong FIX N103



Obr. 60: Kontrola podélného sklonu a rovinnosti horní hrany zdiva



Obr. 61: Dokončený nezbrošený vzorek N_{11}

Po dokončení každé stěny bylo třeba vyčkat alespoň 4 hod pro další manipulaci. Z lícové strany se obrousila přebytečná malta vyteklá ze spár a zarovnal se případné nerovnosti. Před zatěžováním či drážkováním byly všechny stěny vleže zbroušeny ze všech stran pro docílení požadovaných rozměrů. Pata stěny se jen začistila od případné malty. Vzorky byly označeny a uskladněny. Celý proces stavění a tvrdnutí probíhal ve vnitřních prostorách při teplotě 22°C až 26°C. Příprava cihliček a lepidla k použití, samotná výstavba a zbroušení jedné stěny trvalo přibližně 5 hod.



Obr. 62: Označení vzorku stěny

9.3. Realizace drážek

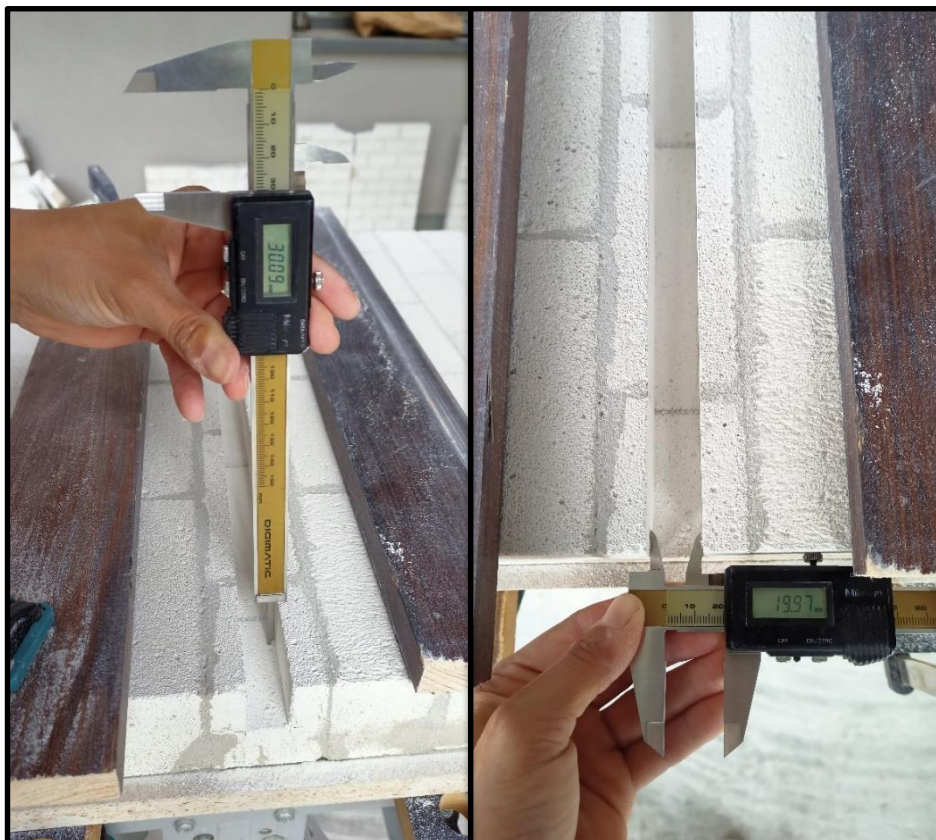
Na vybrané stěny byly dle výkresové dokumentace tužkou vyznačeny krajní hranice požadovaných drážek. Na boky stěn byla vždy vyznačena hloubka drážky. Svislá drážka byla navržena na střed stěny a byl dbán důraz na kolmost k patě stěny.



Obr. 63: Vyznačení svislé drážky na vzorku stěny N_{21} s hloubkou a šířkou drážky 26mm



Obr. 64: Frézování svislé drážky vzorku stěny N_{21} s hloubkou a šířkou drážky 26mm
 Vodorovné drážky byly provedeny v polovině výšky stěny, což znamenalo frézování středem šesté řady cihliček. Po každém drážkování proběhlo kontrolní měření hloubky a šířky drážky šuplerou.



Obr. 65: Příklad kontrolního měření znázorněn na stěně N_{72} s hloubkou vodorovné drážky 30 mm a šířkou 20 mm (rozměry zaokrouhleny)

9.4. Zatěžování vzorků

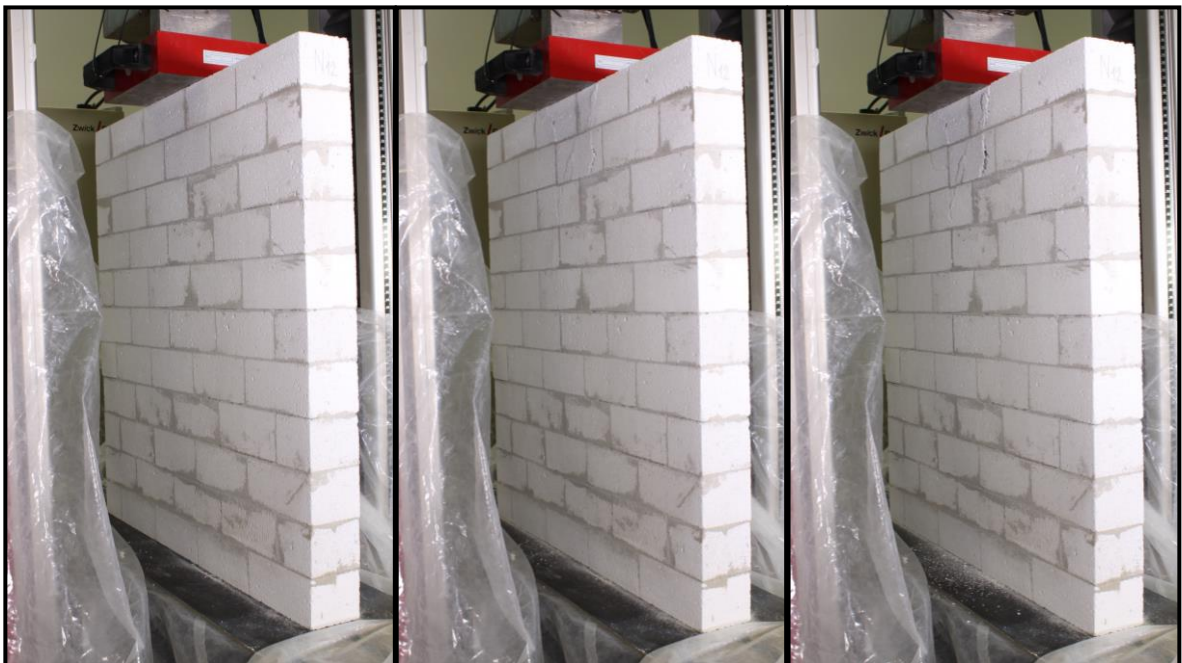
Pro zabránění zanešení stroje Zwick/Roell Z050 byla oblast zatěžování překryta ochranným igelitem. Průběh zatěžování byl focen a natáčen.



Obr. 66: Zkušební laboratoř v budově Nové technologie pro informační společnost (NTIS) na ZČU v Plzni

Vzorky stěn byly postupně umísťovány na ocelovou podložku. Na horní líc stěny byla umístěna roznášecí ocelová deska o hmotnosti 11 kg.

Deska se vždy umístila tak, aby byla na středu stěny a zároveň na ose zatěžovacího komponentu. Následně byly čelisti sníženy tak, aby mezi deskou a komponentem zůstala minimální mezera. Zatěžování prvků bylo nastaveno na rychlost posunu příčnicku $v = 5 \text{ mm/min}$. Během zatěžování byly pomocí programu TestXpert II zaznamenávány hodnoty síly $F \text{ [N]}$, deformace $[m]$ (posun příčnicku) a doba zkoušky $[s]$. U vzorků N_1 až N_6 bylo zatěžování ukončeno po zjevném vzniku trhlin a rapidním poklesu tlakové síly. U vzorků N_7 a N_8 (s horizontální drážkou hloubky 30 a 40 mm) došlo k úplnému kolapsu konstrukce. Níže je uvedena sekvence zachycení zatěžování stěny N_{12} .



Obr. 67: Sekvence snímků během zatížení vzorku N_{12}

9.5. Výsledky měření

V níže uvedených grafech je znázorněn průběh působící síly v čase na jednotlivých vzorcích stěn. K datům zaznamenaného silového působení F bylo při zpracování výsledků vždy přičteno zatížení od roznášecí destičky G_1 o hmotnosti 11 kg.

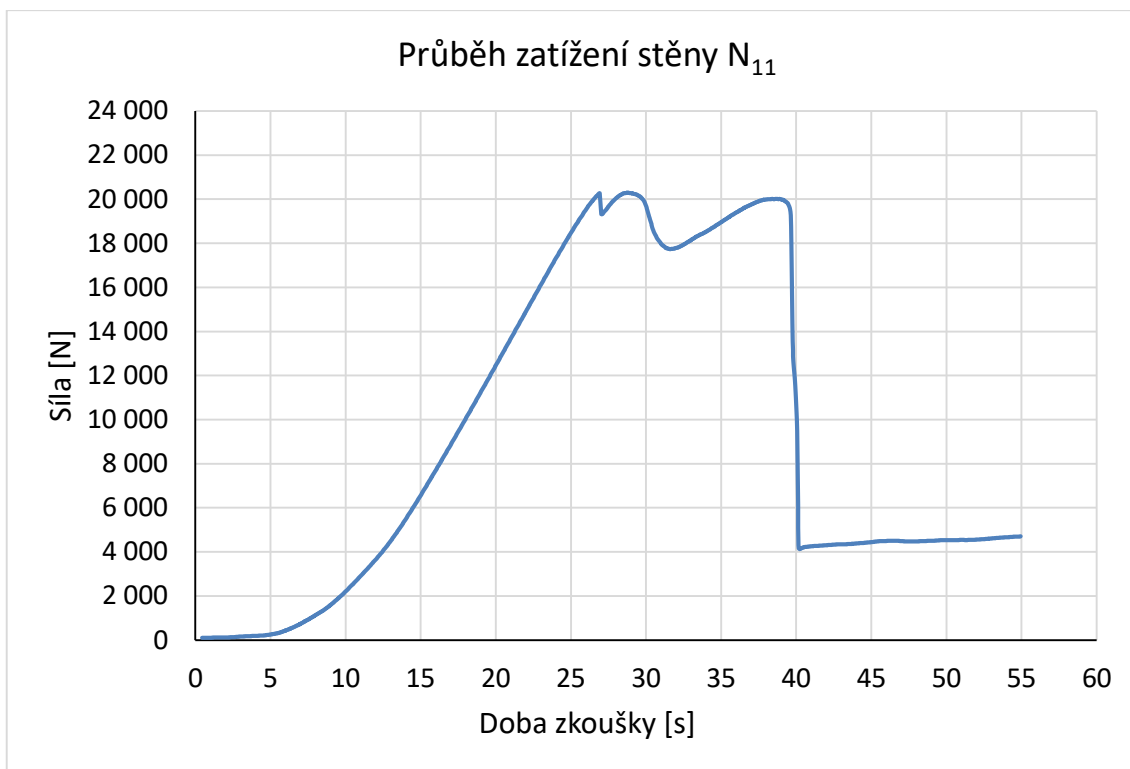
$$F' = F + G_1 \text{ [N]}$$

kde

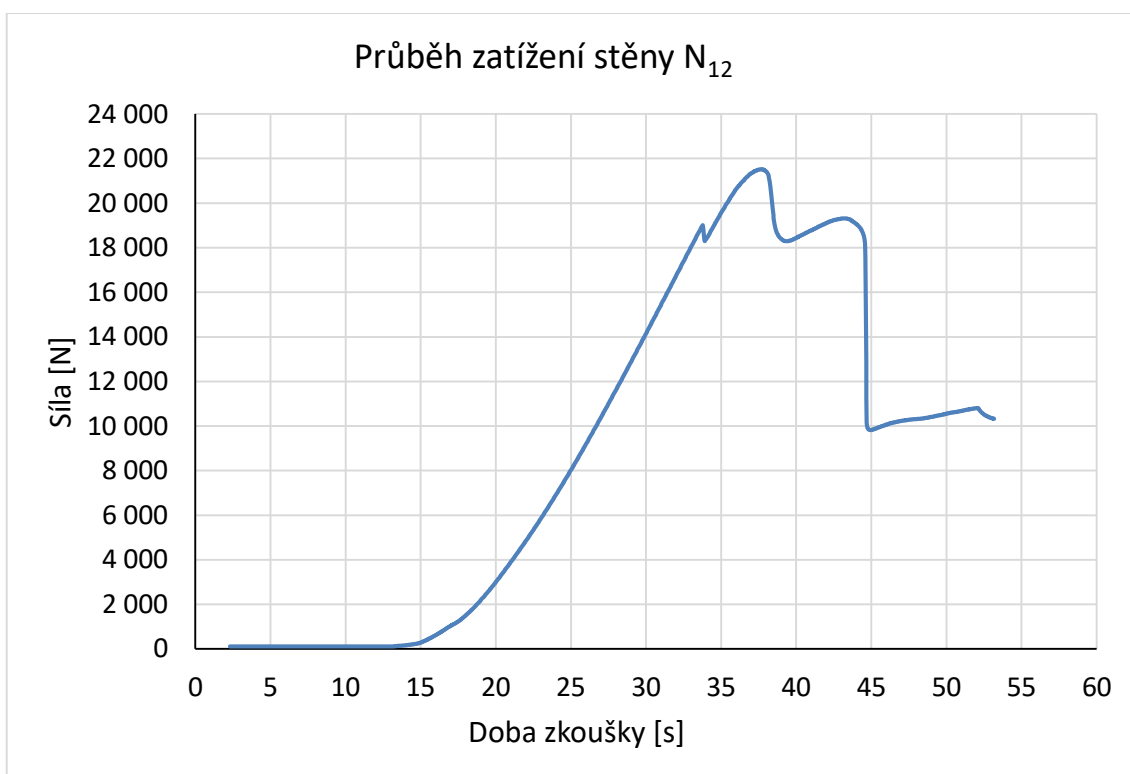
$$G_1 = 11 * 9,81 = 107,9 \text{ N}$$

Z tohoto důvodu uvedené průběhy nejsou započaty v nulové hodnotě tlakové síly. Vzhledem k prodlevě kontaktu roznášecí destičky a zatěžovacího zařízení byly z výsledných dat odebrány hodnoty blížíící se nule v prvních několika sekundách zkoušky. Během každé zkoušky docházelo na počátku k menšímu či většímu nárůstu a poklesu tlakové síly. Tato nuance reprezentuje prvotní kontakt a následné dosednutí zatěžovacího komponentu z důvodu drobné nerovnosti stěn. Výchylka je v měřítku grafického zpracování dat těžko znatelná.

Z vyhodnocení měření byly vyřazeny vzorky N₃₁ (šikmá drážka), N₆₁ a N₆₂ (vodorovná drážka hl. 20 mm). U těchto stěn byla výrazně překročena předpokládaná únosnost vůči plným stěnám, výsledky těchto zkoušek jsou proto uvedeny pouze v příloze. Tato situace mohla být zapříčiněna malým počtem vzorků.



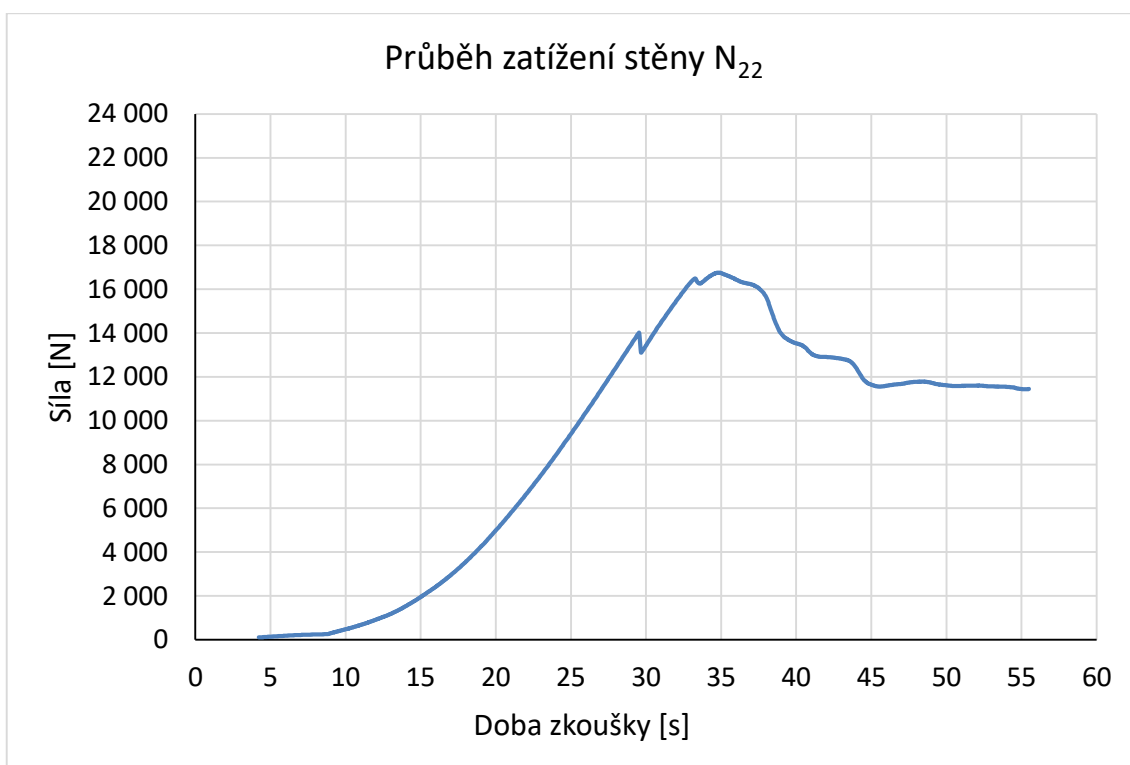
Graf 3: Zatížení stěny N_{11} – plná stěna (referenční) vzorek první



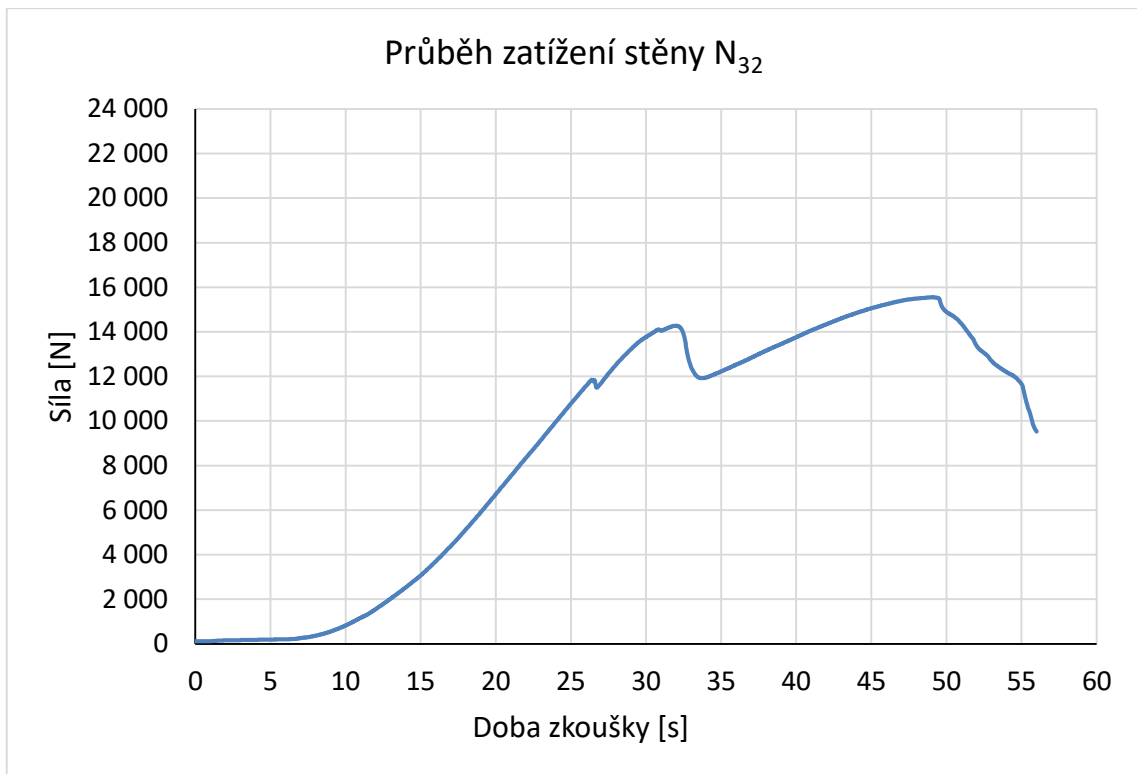
Graf 4: Zatížení stěny N_{12} – plná stěna (referenční) vzorek druhý



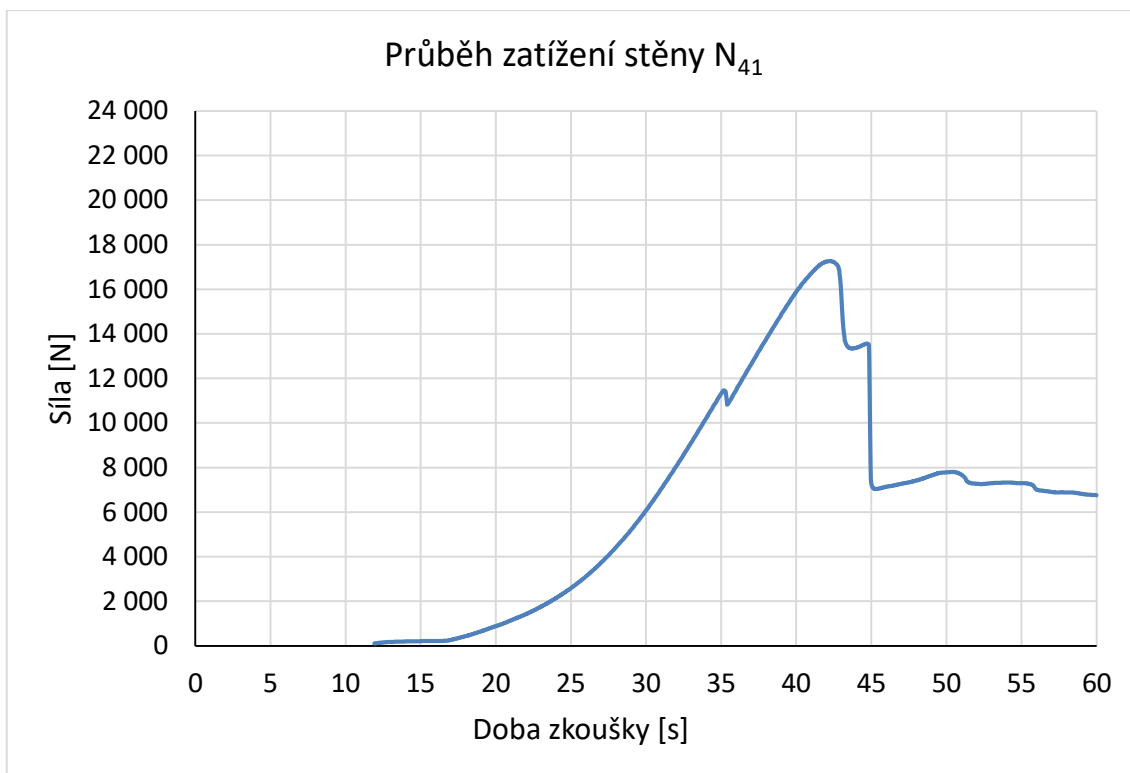
Graf 5: Zatížení stěny N₂₁ – svislá drážka hloubky a šířky 26 mm vzorek první



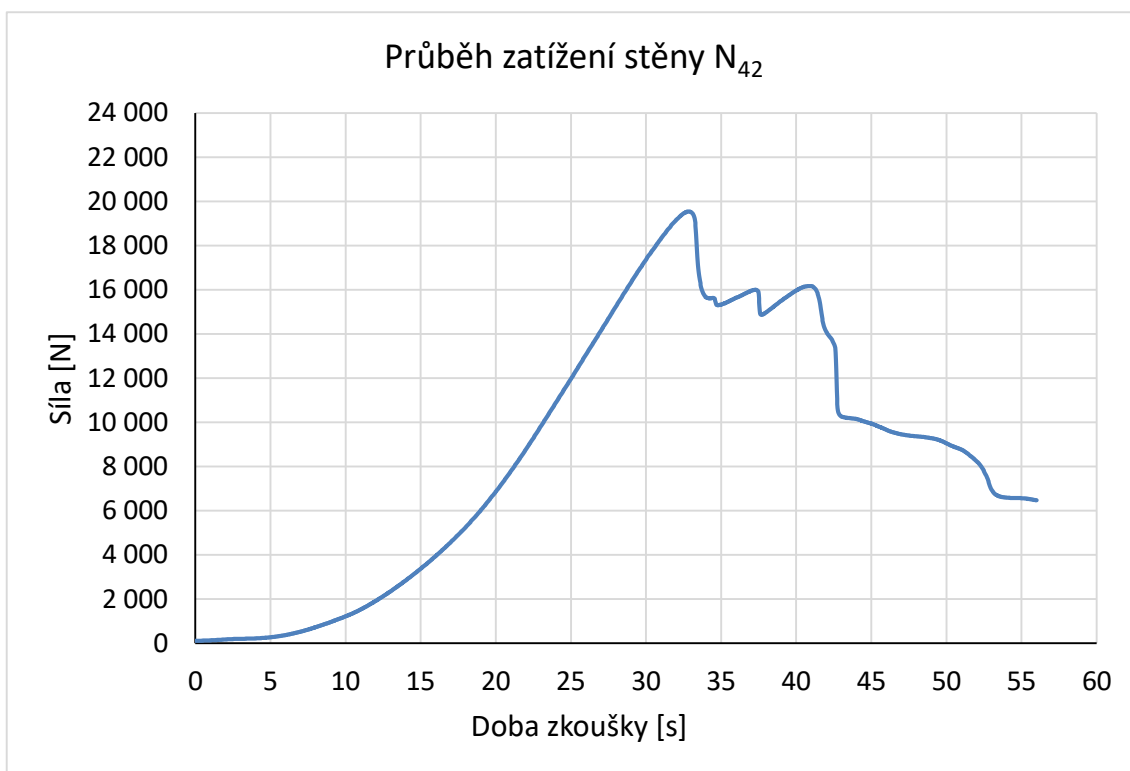
Graf 6: Zatížení stěny N₂₂ – svislá drážka hloubky a šířky 26 mm vzorek druhý



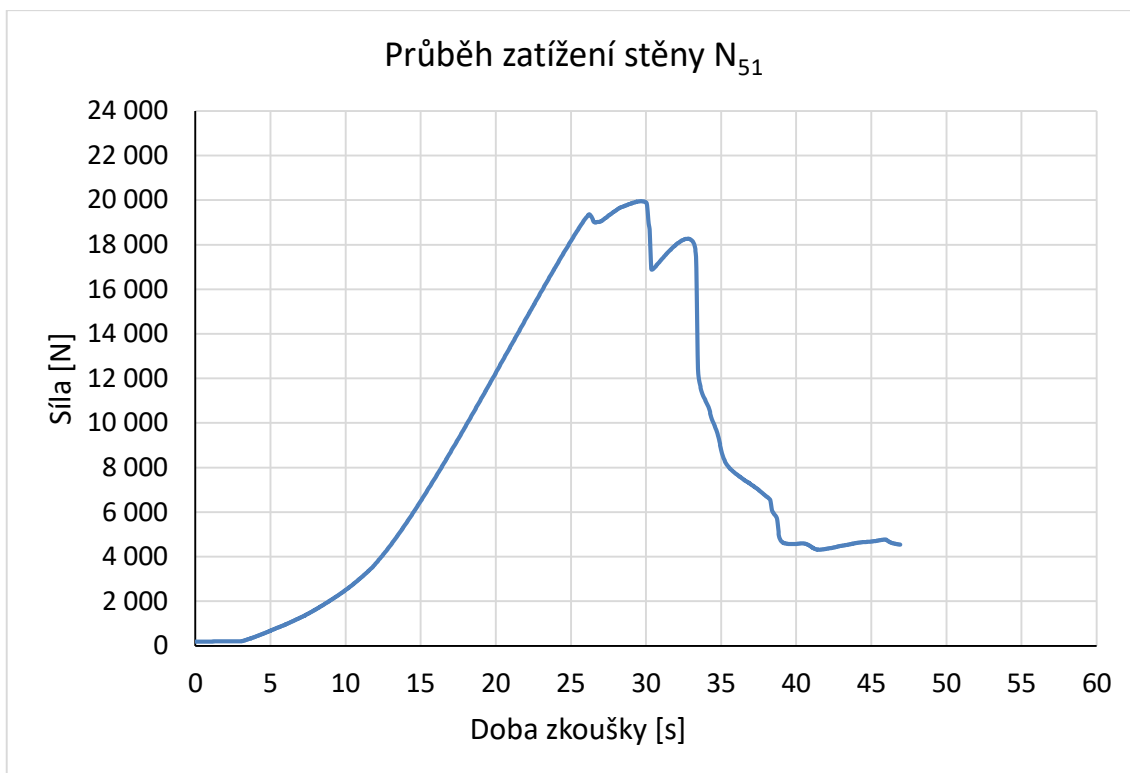
Graf 7: Zatížení stěny N₃₂ – šikmá drážka hloubky a šířky 20 mm vzorek druhý



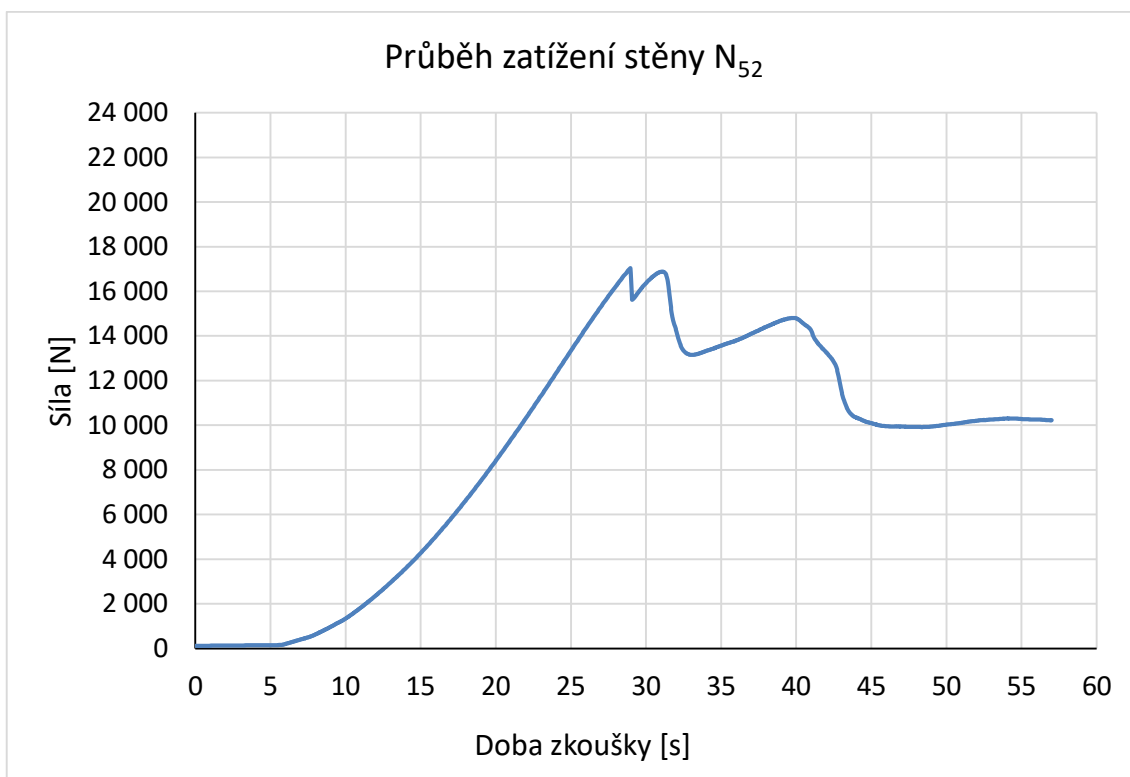
Graf 8: Zatížení stěny N₄₁ – vodorovná drážka hloubky 3 mm a šířky 20 mm vzorek první



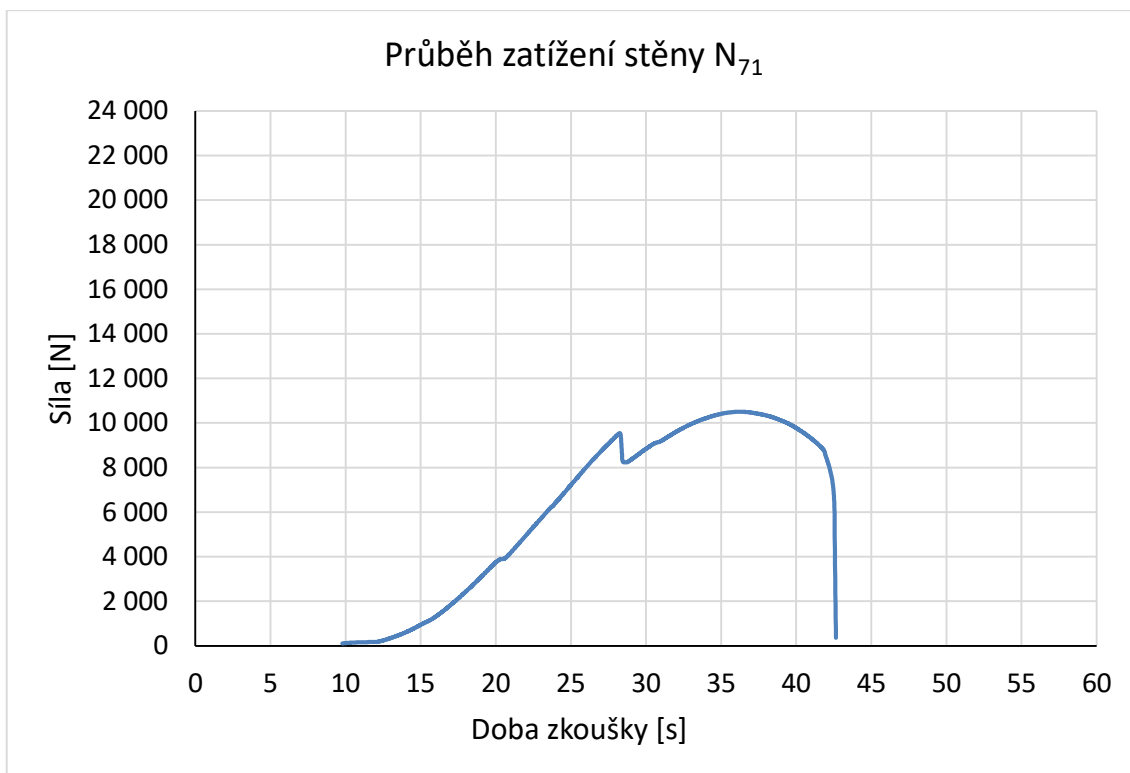
Graf 9: Zatížení stěny N₄₂ – vodorovná drážka hloubky 3 mm a šířky 20 mm vzorek druhý



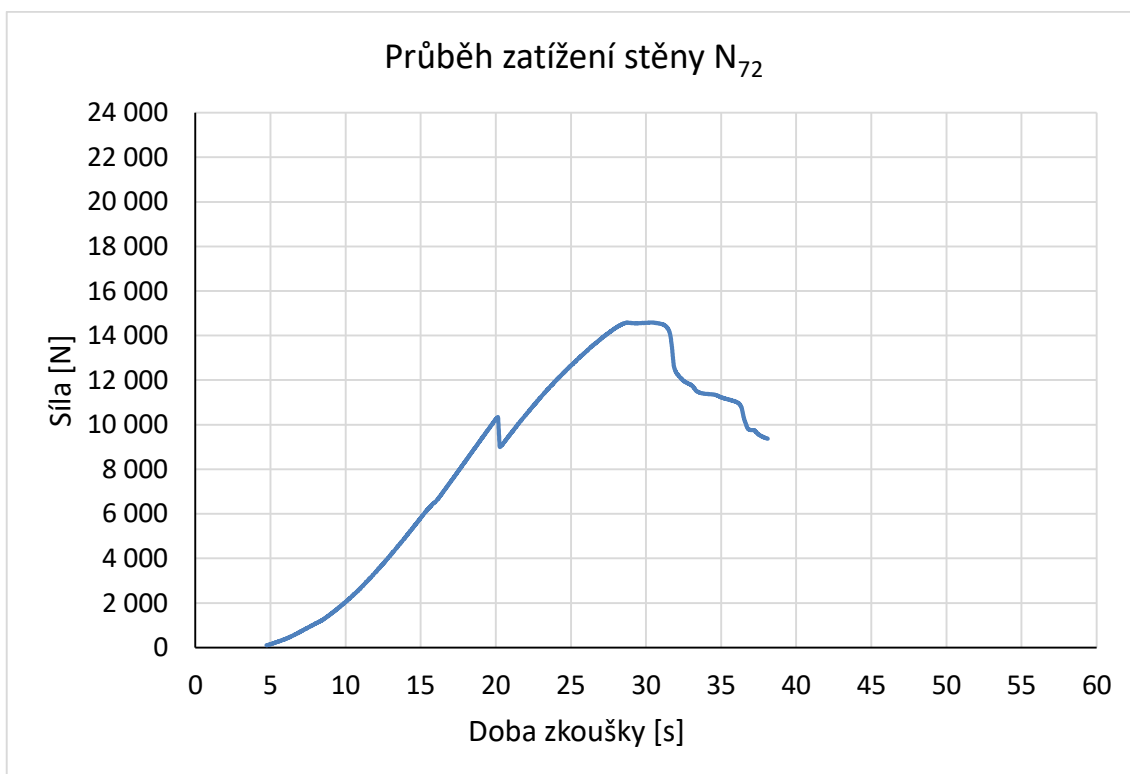
Graf 10: Zatížení stěny N₅₁ – vodorovná drážka hloubky 10 mm a šířky 20 mm vzorek první



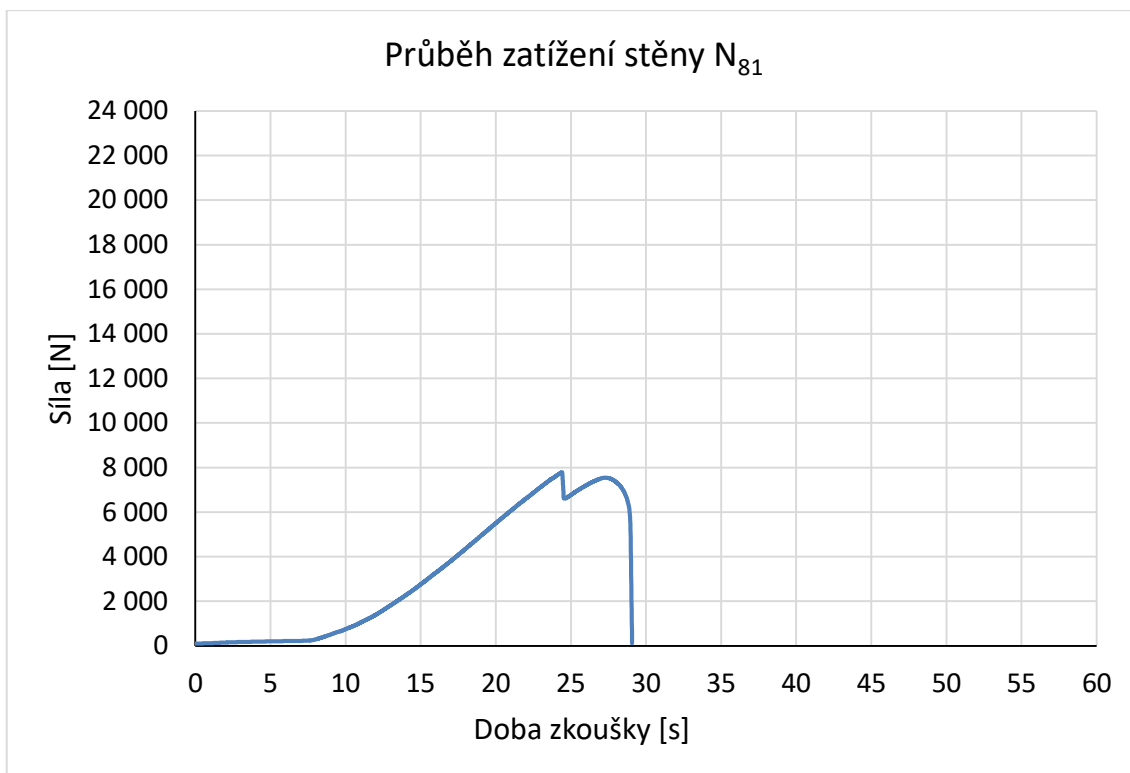
Graf 11: Zatížení stěny N₅₂ – vodorovná drážka hloubky 10 mm a šířky 20 mm vzorek druhý



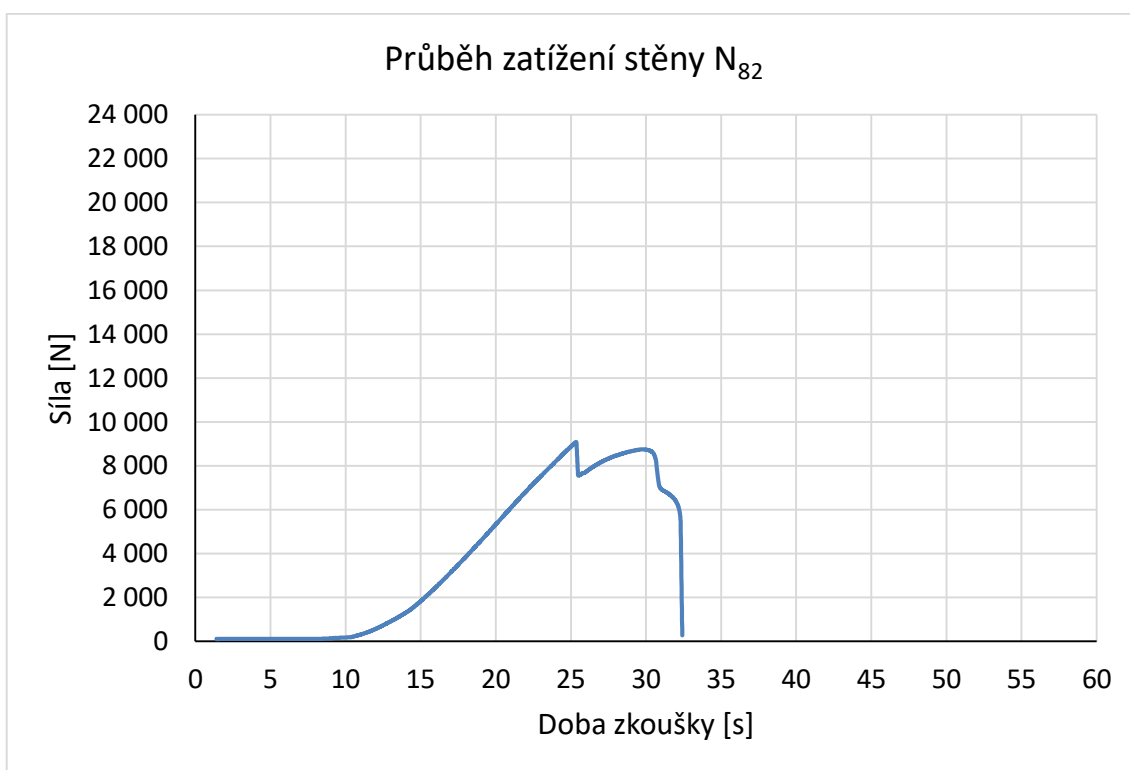
Graf 12: Zatížení stěny N₇₁ – vodorovná drážka hloubky 30 mm a šířky 20 mm vzorek první



Graf 13: Zatížení stěny N₇₂ – vodorovná drážka hloubky 30 mm a šířky 20 mm vzorek druhý



Graf 14: Zatížení stěny N_{81} – vodorovná drážka hloubky 40 mm a šířky 20 mm vzorek první

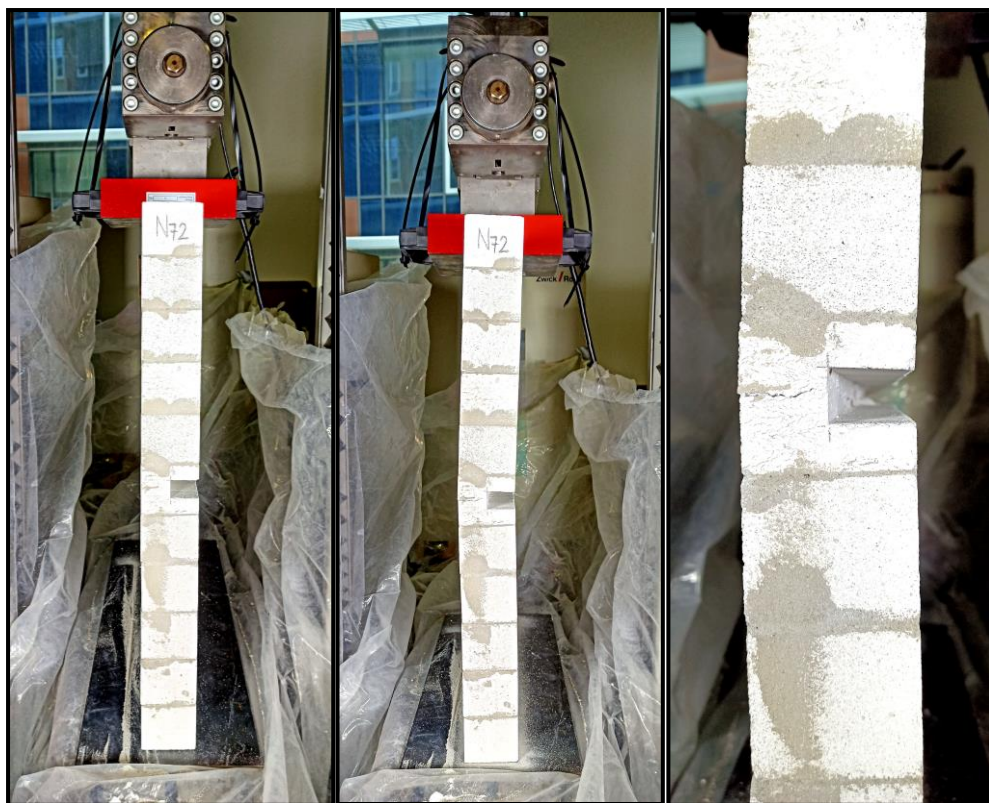


Graf 15: Zatížení stěny N_{82} – vodorovná drážka hloubky 40 mm a šířky 20 mm vzorek druhý

Ve většině případů lze z grafu pozorovat prvotní prokluz síly před dovršením únosnosti stěny. Tento okamžik představuje vznik viditelné trhliny a vždy byl doprovázen zvukovým projevem prasknutí. Ze zpomalených záběrů lze odvodit, že tato prvotní svislá trhlina se u všech vzorků projeví zhruba v ose zatížení a prochází svislými spárami. U hlubokých vodorovných drážek od 30 mm (vzorky N₇ a N₈) je tato svislá trhlina prakticky okamžitě doprovázena trhlinou vodorovnou. Ta se nachází podél drážky na protějším líci stěny v oblasti tvárnic. Po té dochází ke kolapsu konstrukce. U ostatních vzorků lze po vzniku svislé trhliny pozorovat následné lokální porušení v oblasti pod zatěžovací deskou. Tato oblast se soustředěným napětím v poslední fázi odtlačuje okraje stěn a rozevívá tak svislou trhlinu.



Obr. 68: Průběh zatížení stěny N₁₁ – porušená oblast soustředěným tlakem



Obr. 69: Porušení stěny N₇₂ – boční pohled



Obr. 70: Porušení stěny N₇₂ – pohled na rub stěny

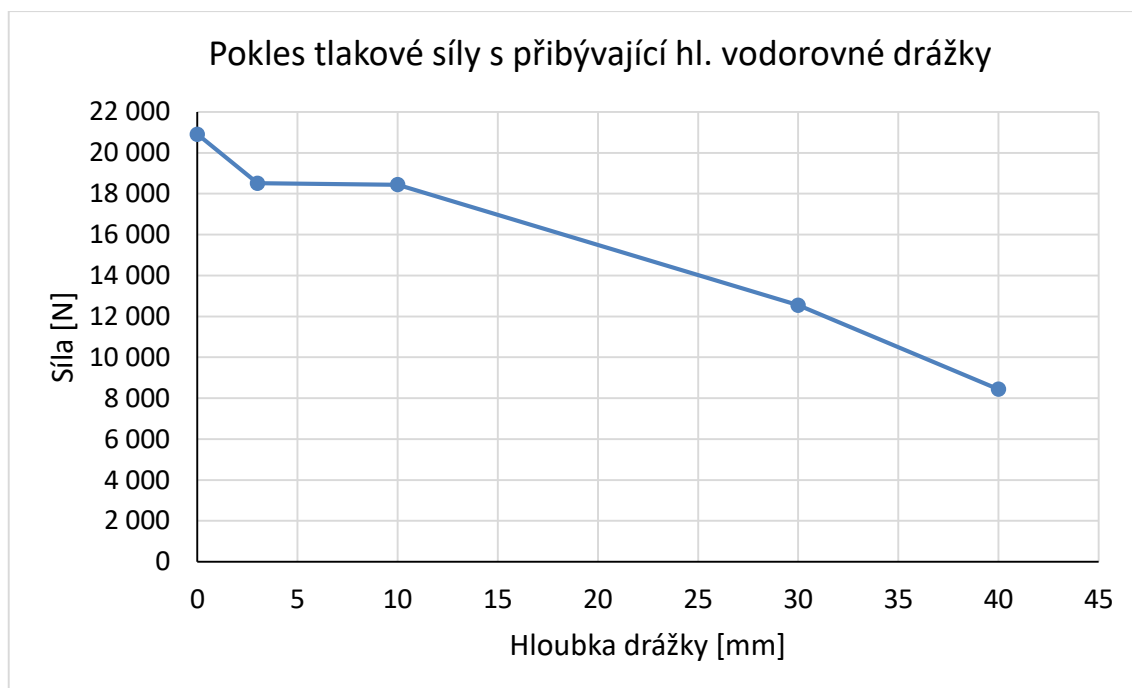
V následující tabulce jsou uvedeny rozměry jednotlivých vyhodnocených vzorků stěn, jejich průměr a přenesená zatěžovací síla. Z naměřených sil byl vytvořen průměr, mimo vzorků N₃. Zde byl jeden ze vzorků vyřazen a byla převzata hodnota pouze ze vzorku N₃₂. Z výsledných sil vyplývá, že svislá a šikmá drážka zhoršily únosnost referenční stěny zhruba shodně o 25%. Vzhledem k hloubkám těchto drážek se stěna se svislou drážkou jeví jako únosnější. Je tak splněn předpoklad nejmenšího vlivu svislých drážek na únosnost stěny.

Pokles únosnosti stěn s vodorovnou drážkou vůči referenční stěně je graficky znázorněn v grafu 16. Z výsledných hodnot byly vyřazeny vzorky N₆₁ a N₆₂ s hloubkou vodorovné drážky 20 mm pro nesplnění předpokladu nižší únosnosti vůči referenční stěně. Dá se předpokládat téměř lineární pokles únosnosti se zvětšující se hloubkou vodorovné drážky. Pro stanovení přesného průběhu přímky by bylo třeba zvýšit četnost vzorků a zvětšit množství zkoušených hloubek drážek například po 5 mm (v případě stejného měřítka).

Normativní vodorovná drážka hloubky 3 mm (15 mm v měřítku 1:1) u vzorků N₄ snížila únosnost referenční stěny o 11,5%. Dle následujících výsledných hodnot vzorků N₅ s hloubkou vodorovné drážky 10 mm (50 mm v měřítku 1:1) se snížením únosnosti vůči referenční stěně o 11,8% lze vyvodit malý vliv na pokles únosnosti. Z provedeného pokusu by bylo možné vyvodit možnost zvětšení dovolené hloubky drážky z 15 mm na 50 mm reprezentující 1/6 tloušťky stěny. Tato hodnota právě představuje dovolené vykonzolování zdiva bez nutnosti statického posouzení.

Vzorek	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Typ drážky	Hloubka/šířka drážky [mm]	Síla [N]	Průměrná síla [N]
N ₁₁	556	60,5	588	bez	-	20 295,7	20 908,5
N ₁₂	555	60,0	590	bez	-	21 521,3	
N ₂₁	558	60,5	591	svislá	26,2/25,9	14 930,8	15 845,2
N ₂₂	560	60,3	584	svislá	26,1/26,0	16 759,6	
N ₃₂	556	61,0	585	šikmá	20,0/20,1	15 550,9	15 550,9
N ₄₁	560	60,1	586	vodorovná	3,2/20,1	17 368,7	18 507,7
N ₄₂	559	60,2	589	vodorovná	3,1/19,8	19 646,8	
N ₅₁	554	60,3	585	vodorovná	9,8/20,1	19 855,6	18 436,7
N ₅₂	555	60,0	582	vodorovná	10,0/20,2	17 017,7	
N ₇₁	558	59,5	585	vodorovná	30,1/19,9	10 504,9	12 545,2
N ₇₂	555	60,2	587	vodorovná	30,1/20,0	14 585,6	
N ₈₁	555	59,9	580	vodorovná	40,0/20,1	7 791,0	8 437,2
N ₈₂	560	60,0	580	vodorovná	39,7/20,0	9 083,4	
Průměr [mm]	557,0	60,2	585,5				

Tab. 9: Přehled rozměrů vzorků stěn, jejich maximální přenesené síly a průměrné hodnoty získaných dat



Graf 16: Grafické znázornění poklesu únosnosti stěny se zvětšující se hloubkou vodorovné drážky

10. Porovnání únosnosti vzorku plné stěny s výpočtem dle EC6

Pro potřeby výpočtu únosnosti stěny v měřítku 1:5 bylo třeba zjistit průměrnou pevnost zdících prvků v tlaku f_u použitých právě na stavbu modelů stěn. Dle zásad zkoušení zdících prvků stanovených v ČSN EN 772-1 musí být k získání validních hodnot zkoušeno minimálně 6 vzorků. Zatížení proběhlo vždy celoplošně pomocí ocelové desky, se kterou byly zatěžovány i modely stěn. V tabulce níže jsou uvedeny parametry všech vzorků a výsledné síly F' po přičtení zatížení od desky.

Vzorek	Délka l [mm]	Šířka t [mm]	Výška h [mm]	Obj. hmotnost ρ [kg/m ³]	Síla [N]
1	122,7	60,0	52,2	444,7	15 587,8
2	122,9	60,4	52,2	449,0	15 653,0
3	122,5	60,3	52,2	446,4	15 233,9
4	122,5	60,4	52,3	416,3	17 730,5
5	122,5	60,2	52,2	449,0	15 179,9
6	122,6	60,1	52,3	447,4	11 772,2
Průměr [mm]	122,6	60,2	52,2	442,1	15 192,9

Tab. 10: Naměřené parametry zkušebních vzorků tvárnice v měřítku 1:5

Deklarovaná průměrná objemová hmotnost zvoleného staviva Ytong P3-450 Univerzal je 450 kg/m³. Z objemových hmotností vzorků naměřených na váze Radwag WTC 600 vyplývá, že modelům tvárnice v měřítku 1:5 klesla objemová hmotnost pouze o necelé 2%.

Pro stanovení skutečné průměrné pevnosti prvku bylo třeba z naměřených hodnot vyřadit vzorek 4 a 6 představující horní 95% a spodní 5% kvantil. Takto stanovený průměr sil činí 15 413,7 N.

Stanovení průměrné pevnosti zdícího prvku v tlaku:

$$f_u = \bar{F} / (\bar{l} * \bar{t})$$

$$f_u = \frac{15\,413,7}{(122,6 * 60,2)}$$

$$f_u = 2,09 \text{ MPa}$$

Stanovení normalizované pevnosti zdícího prvku v tlaku:

$$f_b = f_u * \delta * \eta$$

$$f_b = 2,09 * 0,88 * 1$$

$$f_b = 1,84 \text{ MPa}$$

kde δ ... vliv šířky a výšky zdícího prvku dle tabulky z ČSN EN 772-1;

Šířka (mm) Výška (mm)	50	100	150	200	≥250
40	0,80	0,70	-	-	-
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

POZN.: Mezilehlé hodnoty δ se stanoví interpolací podle přímky

Tab. 11: Součinitel tvaru δ vyjadřující vliv rozměrů zkušební vzorku

η vliv vlhkosti prvku při jeho užití (vysušený stav 0,8; na vzduchu 1,0; pod vodou 1,2).

Stanovení charakteristické pevnosti zdiva v tlaku pro maltu pro tenké spáry:

$$f_k = K * f_b^{0,85}$$

$$f_k = 0,8 * 1,84^{0,85}$$

$$f_k = 1,34 \text{ MPa}$$

kde K vliv materiálů a skupiny zdícího prvku dle ČSN EN 1996-1-1

Zdicí prvky		Obyčejná malta	Malta pro tenké spáry	Lehká malta s hustotou	
			ložné spáry 0,5 až 3 mm	$600 \leq \rho \leq 800$ kg/m ³	$800 < \rho \leq 1\,500$ kg/m ³
Pálené	Skupina 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Skupina 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Skupina 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Skupina 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Vápenopískové	Skupina 1	0,55	0,80	‡	‡
	Skupina 2	0,45	0,65	‡	‡
Betonové	Skupina 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Skupina 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Skupina 3	0,40	0,50	‡	‡
	Skupina 4	0,35	‡	‡	‡
Pórobetonové	Skupina 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Z umělého kamene	Skupina 1	0,45	0,75	‡	‡
Z opracovaného přírodního kamene	Skupina 1	0,45	‡	‡	‡

‡ Běžně nepoužívaná kombinace malta/zdicí prvek; hodnota neuvedena

Tab. 12: Součinitel K pro výpočet charakteristické pevnosti zdiva

Stanovení návrhové pevnosti zdiva v tlaku:

$$f_d = f_k / \gamma_M$$

$$f_d = 1,34 / 2,5$$

$$f_d = 0,54 \text{ MPa}$$

kde γ_M ... dílčí součinitel materiálu dle ČSN EN 1996-1-1 NA.2.1

Materiál		γ_M
A	Zdicí prvky kategorie I a návrhová malta ^a	2,0 (2,5) ^f [2,2] ^g
B	Zdicí prvky kategorie I a předpisová malta ^b	2,2 (2,7) ^f [2,5] ^g
C	Zdicí prvky kategorie II ^{a, b, e}	2,5 (3,0) ^f [2,7] ^g
D	Kotvení výztuže	2,2
E	Betonářská a předpínací výztuž	1,15
F	Pomocné prvky ^{c, d}	2,2
G	Překlady podle EN 845-2	1,5 až 2,5

^a Požadavky na návrhovou maltu jsou v EN 998-2 a EN 1996-2.
^b Požadavky na předpisovou maltu jsou v EN 998-2 a EN 1996-2.
^c Hodnoty, které jsou stanoveny výrobcem, jsou hodnoty průměrné.
^d Pro vrstvu izolace proti vlhkosti se používá součinitel γ_M jako pro zdivo.
^e Pokud variační součinitel pro zdicí prvky kategorie II není větší než 25 %.
^f Hodnoty () v závorce platí pro zdivo z porobetonových zdicích prvků zděných na lehkou maltu.
^g Hodnoty [] v závorce platí pro zdivo z přesných porobetonových zdicích prvků zděných na maltu pro tenké spáry.

Tab. 13: Součinitel γ_M pro výpočet návrhové pevnosti zdiva

Provedené zkoušky na modelech stěn odpovídají zatížení stěny soustředěným tlakem. Návrhová hodnota odolnosti proti svislému zatížení se stanoví ze vztahu:

$$N_{Rdc} = \beta * A_b * f_d$$

$$N_{Rdc} = 1,24 * 0,01 * 0,54$$

$$N_{Rdc} = 6\,834,0\text{ N}$$

kde β zvětšující součinitel pro soustředěné zatížení;

A_b zvětšující součinitel pro soustředěné zatížení [m²].

Součinitel β lze stanovit z grafického vyjádření nebo z výpočtu:

$$\beta = \left(1 + 0,3 * \frac{a_1}{h_c}\right) * \left(1,5 - 1,1 * \frac{A_b}{A_{ef}}\right)$$

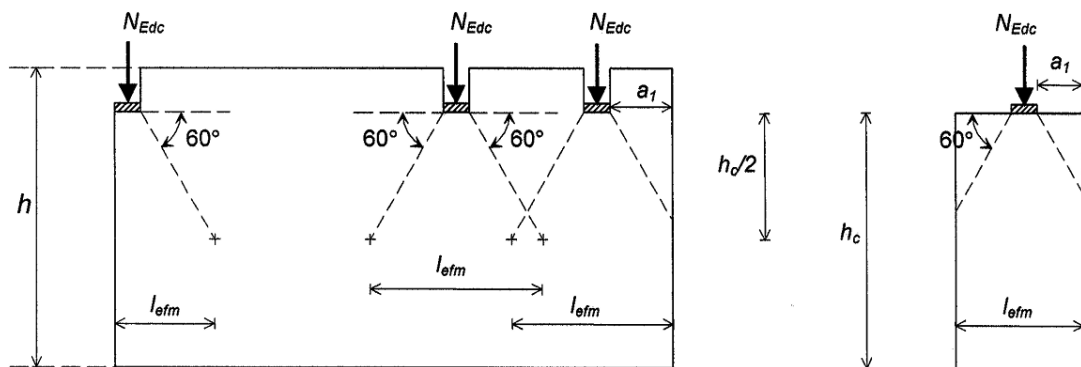
$$\beta = \left(1 + 0,3 * \frac{0,195}{0,585}\right) * \left(1,5 - 1,1 * \frac{0,01}{0,03}\right)$$

$$\beta = 1,24$$

kde a_1 vzdálenost od konce stěny k okraji zatěžované plochy [m];

h_c výška stěny od paty k zatěžované ploše [m];

A_{ef} účinná roznášecí plocha stanovena z účinné roznášecí délky a tloušťky stěny $l_{efm} * t$ [m²].



Obr. 71: Stěny se soustředěným zatížením dle EC6

Vypočtená maximální síla působící v soustředěné ploše byla stanovena výpočtem na 6,83 kN. Během experimentální fáze byla vyvinuta průměrná zatěžovací síla na plnou stěnu 20,91 kN. Statický návrh představuje třetinovou únosnost vůči skutečně vyvinuté síle. Toto porovnání bylo stanoveno na základě modelu stěny v měřítku 1:5. Není dogmatem platnost předpokladu i pro reálné rozměry stěn.

11. Závěr

V první části se diplomová práce věnuje historickému vývoji zdění a s ním spojeným souvislostem. Popisuje počátky stavění v jednotlivých částech světa, vliv architektonických slohů na podobu zdění, zachycuje zásadní okamžiky a pokroky ve vývoji zdiva, seznamuje s nejpoužívanějšími stavivými dnešní doby a nastiňuje blízký vývoj zděných konstrukcí. V závěru teoretické části je také uveden přehledný vývoj navrhování zděných konstrukcí u nás.

Praktická část zkoumá vliv různých drážek na únosnost modelového zdiva při soustředěném zatížení. Pro pokus byly vybrány pórobetonové tvárnice Ytong P3-450 Univerzal tloušťky 300 mm pro nosné zdivo a příčkové Ytong P2-400 tl. 150 mm. Pro modely stěn byla stanovena výška 11 vrstev tvárnice a délka 4,5 tvárnice v měřítku 1:5. Po sestavení první příčkové stěny v měřítku tl. 30 mm bylo na základě velmi špatné manipulace a vysoké křehkosti příčkové zdivo vyřazeno z pokusu. Experiment se tedy omezil na zkoušení nosné stěny tl. 60 mm.

Byly zvoleny tři druhy drážek svislá, vodorovná a šikmá pod úhlem 12° . Rozměr svislé a šikmé drážky vychází z reálných situací provádění rozvodů kanalizačního potrubí na stavbách. Vodorovná drážka byla vzhledem k největšímu vlivu na únosnost stěn provedena v polovině výšky stěny v pěti různých hloubkách pro zjištění posloupnosti poklesu únosnosti. Pro každý typ byly postaveny pouze dva vzorky vzhledem k časové náročnosti experimentu. 16 vzorků se skládalo ze 2 plných stěn (referenční), 2 stěn se svislou drážkou, 2 se šikmou drážkou a z 10 s vodorovnou drážkou. Pro přenos zatížení z čelistí na horní plochu stěny byla nejprve zvolena ocelová destička šířky 40 mm. Během zatěžování došlo pouze k drcení kruhové oblasti těsně pod destičkou a téměř celá destička byla zatlačena do první vrstvy tvárniček. Pokus tedy neměl vypovídající hodnotu o únosnosti celku a především by se téměř neprojevil vliv šikmých a vodorovných drážek. Zkouška musela být tedy opakována a pro další pokus byla zvolena větší roznášecí plocha pomocí destičky široké 170 mm. Výsledky nezpracovaného pokusu do výsledných hodnot jsou uvedeny v příloze této práce.

V následujících zkouškách se projevilo jako nedostatek malá četnost vzorků. Z tohoto důvodu byly některé výsledky zavádějící a musely být z vyhodnocení vyřazeny. Tato měření jsou uvedena pouze v příloze diplomové práce.

Ze získaných výsledků zatěžování lze usoudit pro případ svislé drážky téměř do poloviny stěny dle stanovených parametrů této práce pokles únosnosti stěny o 25%. Šikmá drážka do 1/3 tloušťky dané stěny představuje zhruba stejné oslabení únosnosti jako zkoušená drážka svislá. Pokles únosnosti stěny s různě hlubokými vodorovnými drážkami se jevil jako lineární. Stěny s hloubkou vodorovné drážky do 1/2 stěny prokázaly 40% úbytek únosnosti. Drážka provedená do 2/3 stěny způsobila pokles únosnosti stěny o 60%. Model s normově povolenou drážkou hloubky 3 mm (15 mm v měřítku 1:1) bez nutnosti statického posouzení vykazoval zhruba stejný pokles únosnosti jako drážka hloubky 10 mm (50 mm), tedy pokles o 12%. V tomto případě drážka 10 mm představovala 1/6 tloušťky stěny, což odpovídá maximálnímu doporučení vykonzolování zdiva. Tato oblast není v nynější době prokázána experimentálně a provedené pokusy by mohly být rozvinut v případných následných pracích.

Vzhledem k nevhodným výsledkům stěn s vodorovnou drážkou hl. 20 mm byla tato hodnota z vyhodnocení vyřazena. Z průběhu zatěžování a z výsledných grafů je třeba podotknout, že u vodorovných drážek hloubky cca do 1/2 stěny a více nastává po vzniku první trhliny (prokluzu síly) téměř okamžitě kolaps celé konstrukce. V ostatních případech nastal významný pokles únosnosti a tvorba větších trhlin, ale pokusy byly přerušeny řízeně.

V závěru práce byla experimentální část porovnána s teoretickým výpočtem. Porovnání bylo provedeno na plné stěně s uvažovaným zatížením od soustředěného břemene. Výsledné zhodnocení ukázalo, že vypočtené návrhové hodnoty představují 1/3 únosnosti vůči skutečnému zatížení během zkoušky. Tento výsledek je způsoben vnesením bezpečnostních součinitelů do výpočtu.

Vybrané téma mi poskytlo možnost vyzkoušet si práci v laboratorním prostředí a vzbudilo mou zvědavost v oblasti zkušebnictví a zjišťování vlastností stavebních materiálů. Po prvotní zkušenosti bych se raději zaměřila na jeden typ drážkování

a provedla zkoušky s větší četností vzorků pro větší průkaznost výsledků. Na tomto závěru lze stavět případně následující práci.

Citovaná literatura a internetové zdroje

- [1] PETŘÍČKOVÁ, Monika. *Konstrukce a architektura*. Brno: VUTIUM, 2012, ISBN 978-80-214-4422-5
- [2] ABDUL MASSIH, Jeanine; NISHIYAMA, Shinichi a kol. *Archaeological Explorations in Syria 2000-2011*. Summertown, Oxford: Archaeopress, 2018, ISBN 978 1 78491 948 1
- [3] HEJHÁLEK, Jan. *Historie cihly od neolytu přes Babylon až po současnost* [online]. 23.7.2021. Dostupný na WWW: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/historie-cihly>
- [4] Biblelandpictures/Alamy. *National Geographic* [online]. 11.3.2011. Dostupný na WWW: <https://www.nationalgeographic.com/history/article/110309-tower-of-gericho-summer-solstice-first-skyscraper-science-christ>
- [5] FIALA, Jan; MIKOLAS, Milan; KREJSOVA, Katerina. *Full Brick, History and Future* [online]. Dostupný na WWW: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/221/1/012139/pdf>
DOI:10.1088/1755-1315/221/1/012139
- [6] HRAŠKA, Jozef. *Konštrukcie pozemných stavieb*. Slovenská technická univerzita v Bratislave: SPEKTRUM STU, 2017, ISBN 978-80-227-4748-6
- [7] FISCHER, Tomáš. *Architektura. Vybrané kapitoly z dějin*. [online]. 2015. Dostupný na WWW: http://dk.spsopava.cz:8080/docs/pdf/architektura/P9_%20Architektura.pdf
- [8] MCKEAN, Jill. *Scottish highland trails* [online]. Dostupný na WWW: <https://highlandtrails.com/orkney/>
- [9] VŠB OSTRAVA. *3 Architektura a stavitelství Mezopotámie* [online]. Dostupný na WWW: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/zsaa/3.html>
- [10] HASSON HNAIHEN, Kadim. *The Athens Journal of History: The Appearance of Bricks in Ancient Mesopotamia* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.athensjournals.gr/history/2020-6-1-4-Hnaihen.pdf> DOI 10.30958/AJHIS_V6IL
- [11] LORENZ, CSc., doc. Ing. Karel. *NKI - Zděné konstrukce* [online]. 2017. Dostupný na WWW: https://www.fa.cvut.cz/studium/predmety/nosne-konstrukce-i/zd-ne1_z.pdf
- [12] HARRSCH, Mary. *Wikimedia Commons* [online]. 2016. Dostupný na WWW: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_lion_on_the_Ishtar_Gate_of_Babylon_reconstructed_with_original_bricks_at_the_Pergamon_Museum_in_Berlin_575_BCE_\(3\)_32577951406.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_lion_on_the_Ishtar_Gate_of_Babylon_reconstructed_with_original_bricks_at_the_Pergamon_Museum_in_Berlin_575_BCE_(3)_32577951406.jpg)

- [13] FROUZ, Martin. *ResearchGate* [online]. 2017. Dostupný na WWW: https://www.researchgate.net/figure/Tomb-of-king-Shulgi-3-rd-dynasty-of-Ur-Photo-Project-SAHI-Tell-Jokha-Martin-Frouz_fig15_326752819
- [14] HANZLÍČEK, Tomáš; STRAKA, Pavel. *Technologie sumerských staveb* [online]. Dostupný na WWW: <https://vesmir.cz/cz/casopis/archiv-casopisu/2003/cislo-4/technologie-sumerskych-staveb.html>
- [15] HUSSAM, Aladdin/PANORAMIO. *AMUSINGPLANET* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.amusingplanet.com/2016/07/the-great-ziggurat-of-ur.html>
- [16] Persians Are Not Arabs. "*Persian Architecture*" – *The Evolution* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.persiansarenotarabs.com/persian-architecture/>
- [17] GERMAN, Dr. Senta. *Conservation vs. restoration: the Palace at Knossos (Crete)* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.khanacademy.org/humanities/ancient-art-civilizations/aegean-art1/minoan/a/conservation-vs-restoration-the-palace-at-knossos-crete>
- [18] TREPTE, Andreas. *Wikipedie* [online]. Dostupný na WWW: [https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Lv%C3%AD_br%C3%A1na_\(Myk%C3%A9ny\)](https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Lv%C3%AD_br%C3%A1na_(Myk%C3%A9ny))
- [19] MAHALO.CZ. *Sparta* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.mahalo.cz/recko/destinace-recka/pelopones/sparta.html>
- [20] WIKIPEDIE. *Starověké Řecko* [online]. Dostupný na WWW: https://cs.wikipedia.org/wiki/Starov%C4%9Bk%C3%A9_%C5%98ecko
- [21] JIRÁK, Mgr. Tomáš. *II. Chránová architektura 1: rané a archaické chrámy* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.recka-architektura.cz/index.php?stranka=chramovaarchitektura1>
- [22] CKMUNDO. *MUNDO: Héfaistův chrám v aténské agoře* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.mundo.cz/foto/hefaistuv-chram-v-atenske-agore>
- [23] PROSEMENOV. *Maják Pharos byl neobvyklá stavba. Maják Alexandrie, také známý jako Pharos – nejvyšší stavba starověkého světa* [online]. Dostupný na WWW: <https://prosemenov.ru/cs/farosskii-mayak-byl-neobychnym-sooruzheniem-aleksandriiskii-mayak-on-zhe-farosskii-/>
- [24] WIKIPEDIA. *Dějiny Egypta* [online]. Dostupný na WWW: https://cs.wikipedia.org/wiki/D%C4%9Bjiny_Egypta
- [25] WIKISOFIA. *Abydos* [online]. Dostupný na WWW: <https://wikisofia.cz/wiki/Abydos>
- [26] WIKIPEDIA. *Shunet El Zebib* [online]. Dostupný na WWW: https://en.wikipedia.org/wiki/Shunet_El_Zebib

- [27] MARK, Joshua J.. *The Step Pyramid of Djoser at Saqqara* [online]. 14.2.2016. Dostupný na WWW: <https://www.worldhistory.org/article/862/the-step-pyramid-of-djoser-at-saqqara/>
- [28] FELGR, Pavel. *Starověký Egypt* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.starovekyegypt.net/pyramidy-stare-rise/dzoserova-stupnovita-pyramida.php>
- [29] VŠB OSTRAVA. *4 Architektura a stavitelství Egyptu* [online]. Dostupný na WWW: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/zsaa/4.html>
- [30] VIATOR. *Tripadvisor company* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.viator.com/tours/Luxor/Book-online-Full-day-tour-to-West-bank-and-East-Bank-in-Luxor-Egypt-with-Lunch/d826-35050P71>
- [31] MASARYKOVA UNIVERZITA. *Materiální prostředky architektury* [online]. Dostupný na WWW: <https://is.muni.cz/el/1421/podzim2009/KLBcB55/Architektura3.pdf>
- [32] HOŠEK, Jiří; LOSOS, Ludvík. *Historické omítky Průzkum, sanace, typologie*. U Průhonu 22, Praha 7: Grada Publishing, a.s., 2007, ISBN 978-80-247-1395-3
- [33] MANDIĆ IVANKOVIĆ, Ana. *ResearchGate* [online]. 7/2008. Dostupný na WWW: https://www.researchgate.net/figure/Pantheon-Rome-begining-of-construction-27-BC_fig3_273455117
- [34] BRICKARCHITECTURE. *The History of Bricks and Brickmaking* [online]. Dostupný na WWW: <https://brickarchitecture.com/about-brick/why-brick/the-history-of-bricks-brickmaking>
- [35] JIDHASH. *flickr* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.flickr.com/photos/96127997@N07/9117789141>
- [36] VŠB OSTRAVA. *12 Architektura a stavitelství románského období* [online]. Dostupný na WWW: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/zsaa/12.html>
- [37] VŠB OSTRAVA. *13 Architektura a stavitelství gotiky* [online]. Dostupný na WWW: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/zsaa/13.html>
- [38] KROFTOVÁ, Ph.D., Doc. Ing. Klára. *Historické zdivo* [online]. Dostupný na WWW: http://k129.cz/wp-content/uploads/2016/09/1HK_HISTORICKE-ZDIVO.pdf
- [39] PAYNE, Jiří. *Payne* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.payne.cz/3xS43787/KHBarbora.htm>
- [40] WIKIPEDIE. *Husitské války* [online]. Dostupný na WWW: https://cs.wikipedia.org/wiki/Husitsk%C3%A9_v%C3%A1lky

- [41] VŠB OSTRAVA. *14 Architektura a stavitelství renesance* [online]. Dostupný na WWW: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/zsaa/14.html>
- [42] KESL, David. *mapy.cz* [online]. Dostupný na WWW: <https://mapy.cz/zakladni?x=13.4337000&y=49.7239000&z=11&sourcep=foto&idp=2313362>
- [43] LUNAR MEDIA S.R.O.. *Jaká je historie cihly?* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.naseinfo.cz/stavby-a-stavebnictvi/obvodove-konstrukce-a-materialy/jaka-je-historie-crihly>
- [44] HAVERSTRAW BRICK MUSEUM. *The history of building with bricks* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.haverstrawbrickmuseum.org/about-bricks>
- [45] Josef Rudolf Fiala, *Kruhovka / Konstrukce kruhovky*, 1. svazek, Brno, Jednota pro zvelebení průmyslu cihlářského, 1926.
- [46] KONEČNÝ, Ing. Martin. *Z historie vápenopískových cihel (1894–2012) 1. díl* [online]. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/crihly-bloky-tvarnice/8808-z-historie-vapenopiskovych-crihel-1894-2012-1-dil>
- [47] BOTT, Ch.; KACZMAREK, T.. *100 Jahre Kalksandstein Industrie*. Německo: Hannover 1994, 1994, ISBN -13: 9783980390408
- [48] KONEČNÝ, Ing. Martin. *Z historie vápenopískových cihel (1894–2012) 3. díl* [online]. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/crihly-bloky-tvarnice/8871-z-historie-vapenopiskovych-crihel-1894-2012-3-dil-prvni-stavby>
- [49] RICS ISURV; HISTORIC ENGLAND/DAVID PICKLES. *Building history: bricks and mortar* [online]. Dostupný na WWW: https://www.isurv.com/info/390/features/11968/building_history_bricks_and_mortar
- [50] HUBER, DIS, Jan. *Cihla - od historie po dnešek* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/crihla-od-historie-po-dnesek>
- [51] KUDRNA; TOMÍŠKOVÁ; LHOTSKÝ. *Katalog cihlářských výrobků*. Brno, 1986, Československé závody Brno
- [52] WIKIPEDIE. *Ytong* [online]. Dostupný na WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ytong>
- [53] DVOŘÁKOVÁ, Stanislava. *Cihla k cihle od starověku až po přítomnost vytváří člověku prostor pro pohodu i bezpečí* [online]. 24.6.2016. Dostupný na WWW: <https://www.novinky.cz/vase-zpravy/clanek/crihla-k-crihle-od-staroveku-az-po-pritomnost-vytvari-cloveku-prostor-pro-pohodu-i-bezpeci-301536>
- [54] ZLÁMAL, Ing. Lubomír. *Pozemní stavitelství a Geometrická přesnost staveb* [online]. Dostupný na WWW: <https://docplayer.cz/9553740-Pozemni-stavitelstvi-a-geometricka-presnost-staveb.html>

- [55] PUFOAM. *The history of polyurethane* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.pu-schaum.center/en/facts-worth-knowing/the-history-of-polyurethane/>
- [56] HEJLOVÁ, Ing. Zuzana. *Podceňovaná místa zděných staveb z pohledu statika* [online]. 25.1.2018. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/16854-podcenovana-mista-zdenych-staveb-z-pohledu-statika>
- [57] VEJVARA Ph.D., Ing. Luděk. *Zděné konstrukce I*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2016, ISBN 978-80-261-0578-7.
- [58] HEINRICH, Ing. Pavel. *Časopis stavebnictví: Vývoj tepelně technických vlastností zdiva z pálených cihel* [online]. 13.6.2011. Dostupný na WWW: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-vyvoj-tepelne-technicky-vlastnosti-zdiva-z-paleny-chihel.html>
- [59] Košatka, P.: *Zkoušky pevnosti zdiva z broušených cihel SUPE®THERM SB se dvěma druhy malt*, Stavebnictví a interiér č. 7/2007, str. 8.
- [60] VACEK, Ph.D., Ing. Miroslav. *Vývoj a vlastnosti cihel HELUZ vyplněných polystyrenem* [online]. 17.8.2015. Dostupný na WWW: https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/vyvoj-a-vlastnosti-cihel-heluz-vyplnenych-polystyrenem_42723.html
- [61] WIENERBERGER. *Výroba cihel Porotherm T Profi plněných minerální vatou* [online]. 19.3.2014. Dostupný na WWW: <https://www.youtube.com/watch?v=2HXKrgwmOfE>
- [62] HEINRICH, Ing. Pavel. *tzb-info* [online]. 2.4.2012. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/8439-tepelne-technicke-parametry-cihel-minulost-soucasnost-a-budoucnost>
- [63] HELUZ. *Nepálená cihla se vrací v podobě HELUZ NATURE ENERGY* [online]. 8.9.2010. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/6764-nepalena-cihla-se-vraci-v-podobe-heluz-nature-energy>
- [64] KONEČNÝ, Ing. Martin. *Z historie vápenopískových cihel (1894–2012) 5. díl – Moderní historie vápenopískových cihel a současnost* [online]. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/cihly-bloky-tvarnice/8921-z-historie-vapenopiskovy-chihel-1894-2012-5-dil-moderni-historie-vapenopiskovy-chihel-a-soucasnost>
- [65] SUCHÝ, Ing. Martin. *stavebnictví3000* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/vapenopiskove-zdivo-vapis-pro-nizkoenergeticke-a-pasivni-stavby>
- [66] BETON.CZ. *Lehčený beton* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.beton.cz/beton/lehceny-beton.html>

- [67] VETCHÝ, Ing. Jan. *Lehké betony a malty* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.mct.cz/soubor/lehke-betony-a-malty/>
- [68] KADLEC, Ing. Jaroslav; KRATOCHVÍL, Ing. Miroslav; TERZIJSKI, Prof. Ing. Ivailo a kol. *tzb-info* [online]. 20.1.2014. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10785-vyvoj-a-zakladni-vlastnosti-ultralehkeho-betonu>
- [69] RAMBOCK. *Ramboeck.at* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.ramboeck.at/hochbau>
- [70] LIAPOR. *liapor.cz* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.liapor.cz/produkty/zdivo/nosne-steny/>
- [71] WIKIPEDIE. *Perlit* [online]. Dostupný na WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Perlit>
- [72] STALEFORM. *Suché zdění z tvárnic Staleform* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.levnetvarnice.cz/realizace/> [73] BSG. *Výrobky - betonové cihly a kostky* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.betonstavby.cz/cz/vyroby/betonove-crihly-a-kostky>
- [74] BSG. *tzb-info* [online]. 13.10.210. Dostupný na WWW: <https://stavba.tzb-info.cz/crihly-bloky-tvarnice/6846-komplexni-system-ultra-therm-setri-vasepenize>
- [75] IZOMAT. *Zdíci materiály* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.izomat.cz/zdici-materialy/> [76] ZAVODFOTO.RU. *optolov.ru* [online]. Dostupný na WWW: <https://optolov.ru/cs/kitchen/yacheistobetonnye-i-gazosilikatnye-bloki-raznica-cto-luchshe.html>
- [77] TECHNAVIO. *Top 5 Vendors in the Global Autoclaved Aerated Concrete Market From 2017 to 2021: Technavio* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.businesswire.com/news/home/20170613006154/en/Top-5-Vendors-in-the-Global-Autoclaved-Aerated-Concrete-Market-From-2017-to-2021-Technavio>
- [78] GABIONY LEMON. *gabionylemon* [online]. Dostupný na WWW: <https://gabionylemon.cz/kamen-do-gabionu/>
- [79] HÁJEK, CSC., Prof. Ing. Petr a kol. *Konstrukce pozemních staveb 1*. Praha: ČVUT, 2007, ISBN 978-80-01-03589-4.
- [80] SAINT-GOBAIN. *Trendy v architektuře a stavebnictví: Je čas na vizionářské projekty* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.saint-gobain.cz/pro-odborniky/webinare-a-skoleni/zaznamy-webinaru-skoleni/trendy-v-architekture-stavebnictvi-je-cas-na-vizionarske-projekty>

- [81] SCOTT, Peters. *Technology Advances of Robotics in Masonry* [online]. 2015. Dostupný na WWW: <https://www.masonrymagazine.com/blog/2015/09/28/october-2015-masonry-technology/>
- [82] DEPAUW, Rhett. *ExakTime* [online]. 17.8.2018. Dostupný na WWW: <https://www.exaktime.com/blog/robot-bricklayers-are-disrupting-the-industry-but-may-not-replace-humans/>
- [83] KOŠATKA, Pavel; BROUKALOVÁ, Iva. *Navrhování zděných konstrukcí příručka k ČSN EN 1996-1-1*. Praha: Informacni centrum CKAIT, 2010, ISBN 9788087438022
- [84] JENEŠ, Ing. Rostislav; PODROUŽKOVÁ, Ing. Božena. *Zděné konstrukce: Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia* [online]. 2005. Dostupný na WWW: [http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BL06-Zdene%20konstrukce%20\(S\)/MS1-Zaklady%20navrhovani.pdf](http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BL06-Zdene%20konstrukce%20(S)/MS1-Zaklady%20navrhovani.pdf)
- [85] ČVUT, Katedra Materiálového Inženýrství A Chemie. *Tepelné a akustické vlastnosti stavebních materiálů* [online]. Dostupný na WWW: http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/TVVM/tep_akustika.pdf
- [86] KUBŮ, Ing. Arch. Marcela. *Akustika sádrokartonových mezibytových stěn* [online]. 15.1.2021. Dostupný na WWW: https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/akustika-sadrokartonovych-mezibytovych-sten_44996.html
- [87] STAVEBNÍ KOMUNITA: *Technologie zdění stavebních konstrukcí* [online]. Dostupný na WWW: <http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/technologie-zdeni-stavebnich-konstrukci>
- [88] SUCHÁNEK, Ph.D., Ing. Petr. *Konstrukční systémy II: Stěnové systémy* [online]. Dostupný na WWW: <https://docplayer.cz/19105405-Konstrukcni-systemy-ii.html>
- [89] SUTTON, Gemma. *gemmasuttondesign* [online]. Dostupný na WWW: <https://gemmasuttondesign.com/2014/03/10/brick-bonding-patterns/>
- [90] KOHOUT, Jaroslav; TOBEK, Antonín. *Zednictví Tradice z pohledu dneška*. Praha: Grada, 1998, ISBN 978-80-7169-653-7
- [91] JENEŠ, Ing. Rostislav; PODROUŽKOVÁ, Ing. Božena. *Zděné konstrukce: MS2* [online]. Dostupný na WWW: [http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BL06-Zdene%20konstrukce%20\(S\)/MS2-Haly,%20vicepodlazni%20budovy.pdf](http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BL06-Zdene%20konstrukce%20(S)/MS2-Haly,%20vicepodlazni%20budovy.pdf)
- [92] MALINOVSKÝ, Vít. *VII. - Základy navrhování konstrukcí* [online]. Dostupný na WWW: <http://mech.fd.cvut.cz/members/malinovsky/teorie-konstrukci/4%20-%20Navrhovani%20konstrukci.pdf/view>

- [93] ČAS. *Historie národní normalizace* [online]. Dostupný na WWW: <https://www.agentura-cas.cz/o-nas/historie-narodni-normalizace/>
- [94] KLOUDA, CSc., EUR ING, Doc. Ing. Jaromír K.. *Zděné a smíšené konstrukce: současnost, trendy, stav technické normalizace - 1. díl* [online]. 25.6.2009. Dostupný na WWW: <https://www.casopisstavebnictvi.cz/clanky-zdene-a-smisene-konstrukce-soucasnost-trendy-stav-technicke-normalizace-1.-dil.html>
- [95] HANZLOVÁ, CSC., Ing. Hana; ŠMEJKAL, CSC., Ing. Jiří. *Betonové a zděné konstrukce 1*. Praha: ČVUT, 2018, ISBN 9788001065082.

Použitý software

Microsoft Office Word 2016

Archicad

Microsoft Office Excel 2016

TestXpert II.

Přílohová část

Příloha A: Fotodokumentace zatěžování jednotlivých vzorků

Vzorek N₁₁



Obr. 72: Zatížený vzorek N₁₁ líc



Obr. 73: Zatížený vzorek N₁₁ rub

Vzorek N_{12_0} (neprůkazný první pokus)



Obr. 74: Zatížený vzorek N_{12_0} bok



Obr. 75: Zatížený vzorek N_{12_0} detail

Vzorek N₁₂



Obr. 76: Zatížený vzorek N₁₂ bok



Obr. 77: Zatížený vzorek N_{12} lic



Obr. 78: Zatížený vzorek N_{12} rub

Vzorek N₂₁



Obr. 79: Zatížený vzorek N₂₁ bok

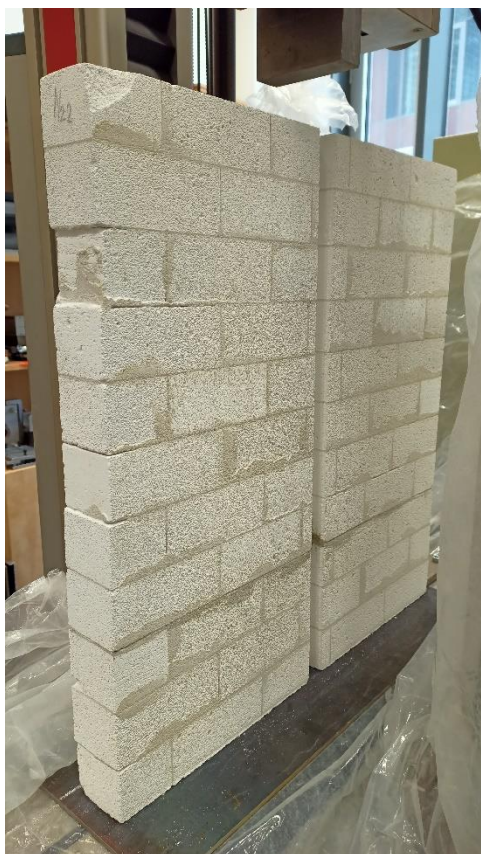


Obr. 80: Zatížený vzorek N₂₁ rub



Obr. 81: Zatížený vzorek N₂₁ líc

Vzorek N₂₂



Obr. 82: Zatížený vzorek N₂₂ bok



Obr. 83: Zatížený vzorek N₂₂ rub



Obr. 84: Zatížený vzorek N₂₂ líc

Vzorek N₃₁



Obr. 85: Zatížený vzorek N₃₁ bok



Obr. 86: Zatížený vzorek N₃₁ líc



Obr. 87: Zatížený vzorek N₃₁ rub

Vzorek N₃₂



Obr. 88: Zatížený vzorek N₃₂ bok



Obr. 89: Zatížený vzorek N₃₂ rub



Obr. 90: Zatížený vzorek N₃₂ líc

Vzorek N₄₁



Obr. 91: Zatížený vzorek N₄₁ bok



Obrázek 92: Zatížený vzorek N₄₁ líc

Vzorek N₄₂



Obr. 93: Zatížený vzorek N₄₂ líc



Obrázek 94: Zatížený vzorek N₄₂ rub

Vzorek N₅₁



Obr. 95: Zatížený vzorek N₅₁ bok



Obrázek 96: Zatížený vzorek N₅₁ rub



Obr. 97: Zatížený vzorek N₅₁ líc

Vzorek N₅₂



Obr. 98: Zatížený vzorek N₅₂ bok



Obr. 99: Zatížený vzorek N₅₂ rub



Obrázek 100: Zatížený vzorek N₅₂ líc

Vzorek N₆₁



Obrázek 101: Zatížený vzorek N₆₁ bok



Obr. 102: Zatížený vzorek N₆₁ líc



Obr. 103: Zatížený vzorek N₆₁ rub

Vzorek N₆₂



Obr. 104: Zatížený vzorek N₆₂ bok



Obr. 105: Zatížený vzorek N₆₂ rub



Obr. 106: Zatížený vzorek N₆₂ líc

Vzorek N₇₁



Obr. 107: Zatížený vzorek N₇₁ bok



Obrázek 108: Zatížený vzorek N₇₁

Vzorek N₇₂



Obr. 109: Zatížený vzorek N₇₂ bok



Obr. 110: Zatížený vzorek N₇₂ líc



Obr. 111: Zatížený vzorek N₇₂ rub

Vzorek N₈₁



Obr. 112: Zatížený vzorek N₈₁ bok



Obr. 113: Zatížený vzorek N₈₁

Vzorek N₈₂

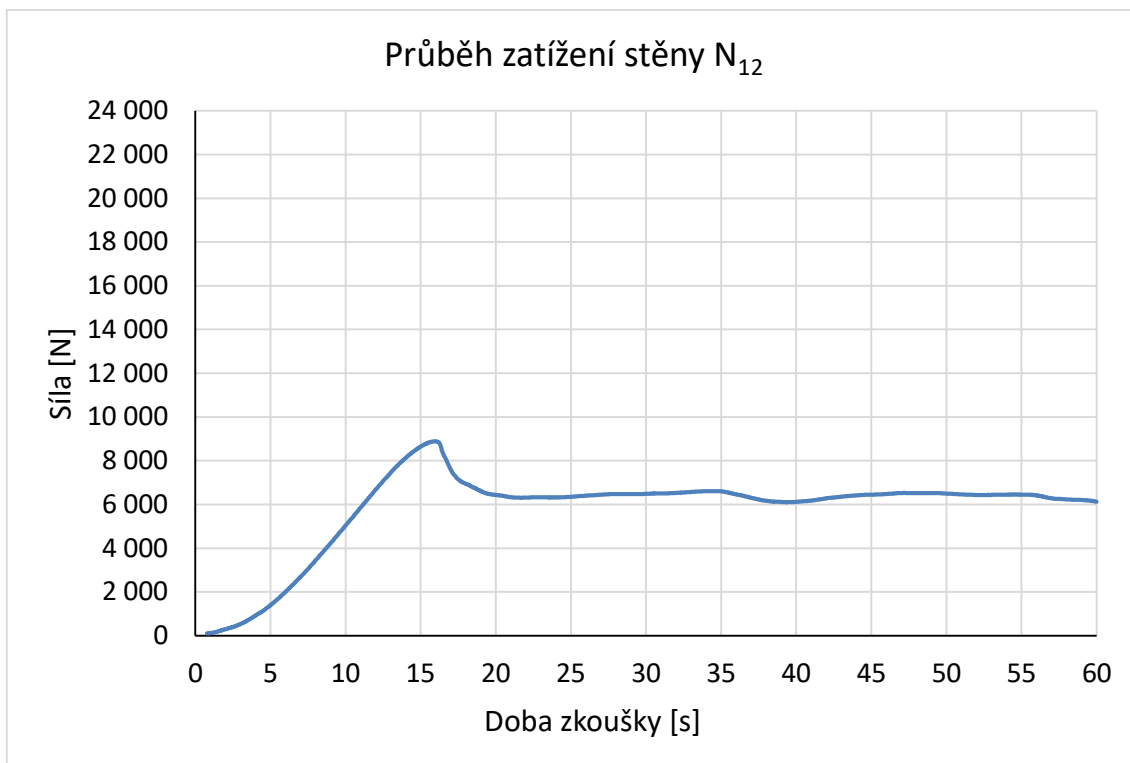


Obr. 114: Zatížený vzorek N₈₂ bok

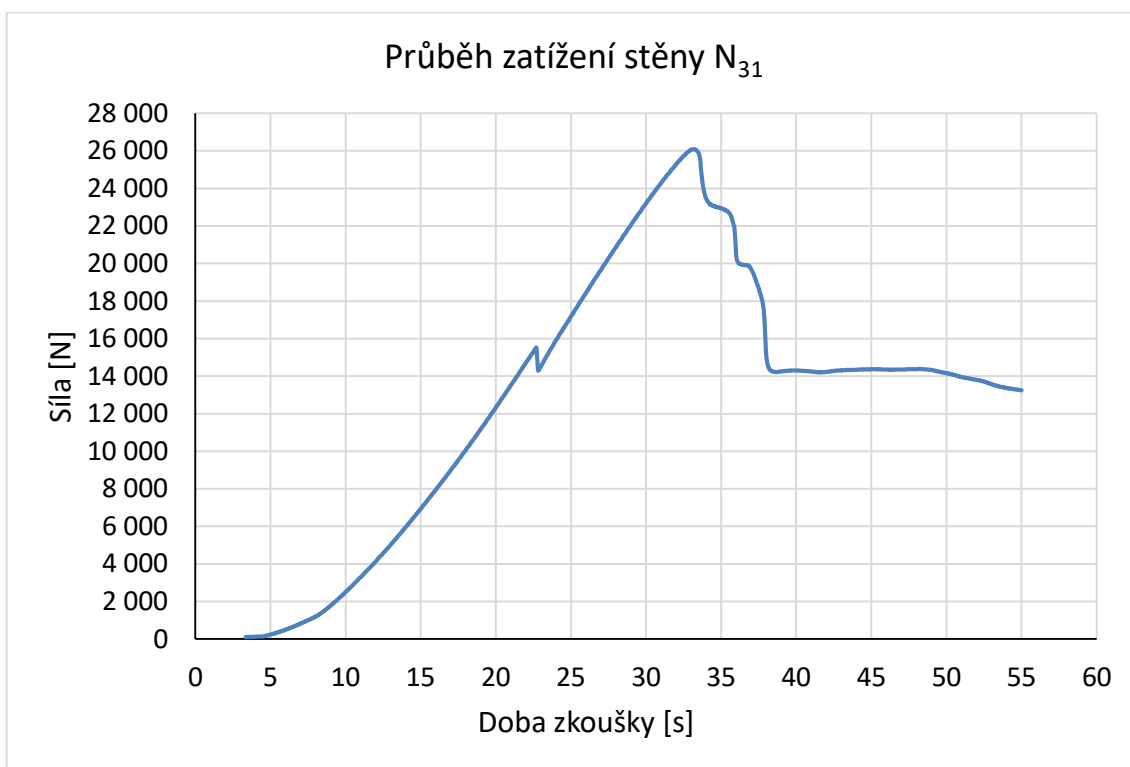


Obr. 115: Zatížený vzorek N₈₂

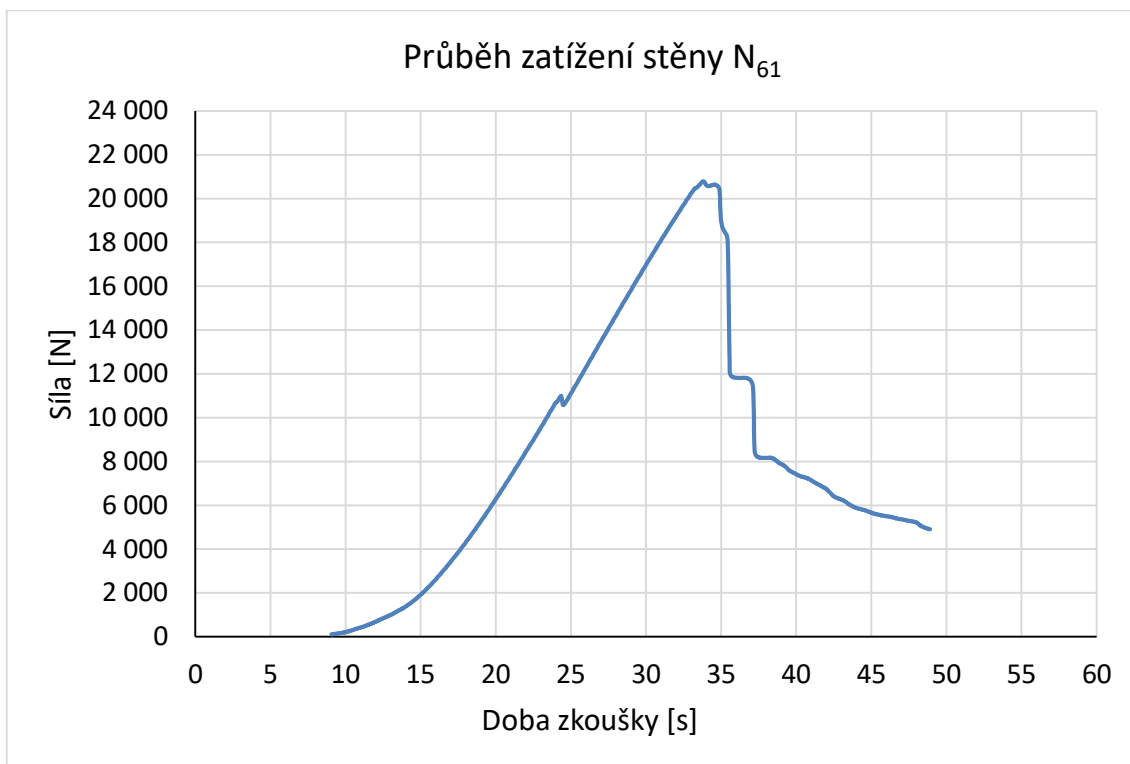
Příloha B: Únosnost vzorků vyřazených z výsledného hodnocení experimentu



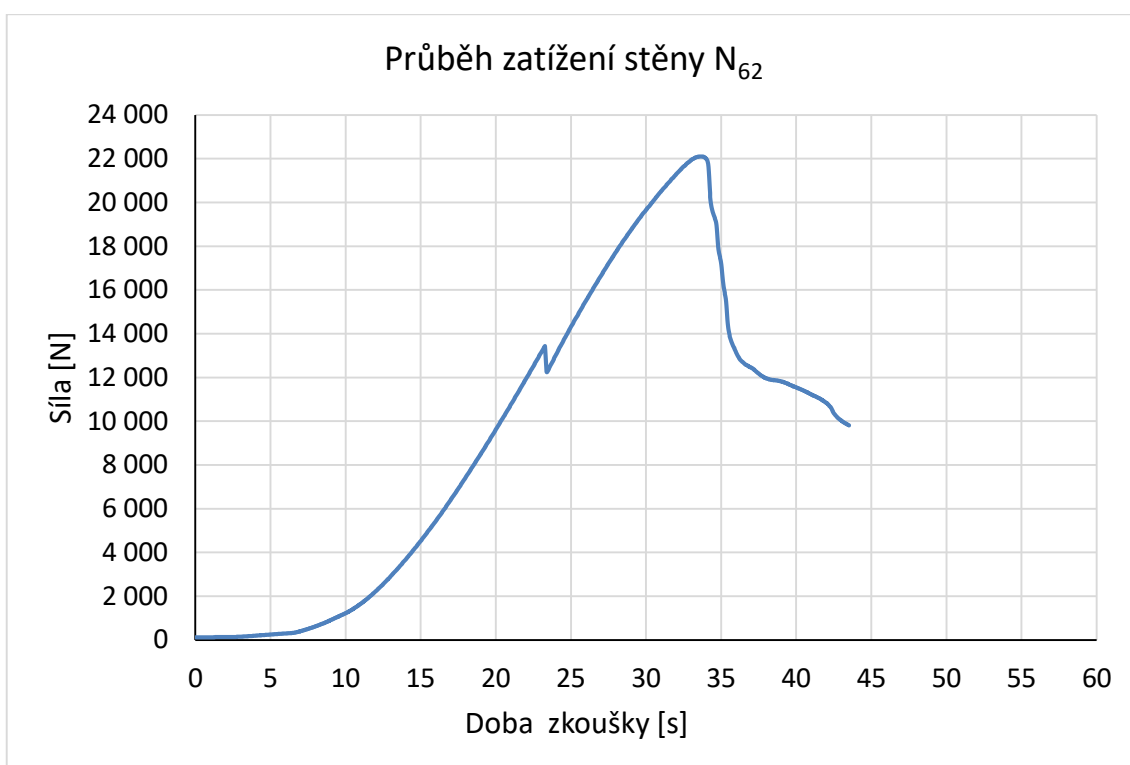
Graf 17: Zatížení stěny N_{12} – plná stěna (referenční) vzorek první



Graf 18: Zatížení stěny N_{31} – šikmá drážka hloubky a šířky 20 mm vzorek první



Graf 19: Zatížení stěny N₆₁ – vodorovná drážka hloubky a šířky 20 mm vzorek první



Graf 20: Zatížení stěny N₆₂ – vodorovná drážka hloubky a šířky 20 mm vzorek druhý