



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Pilíř zděný z plných skleněných cihel namáhaný tlakem

Masonry pillar made of solid glass bricks loaded by compression

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. Jiří Fíla

Doktorský studijní program: (P3604) Stavební inženýrství

Studijní obor: (3608V001) Pozemní stavby

Školitel: prof. Ing. Martina Eliášová, CSc.

Praha, 2023



PROHLÁŠENÍ

Jméno doktoranda: Ing. Jiří Fíla

Název disertační práce: Pilíř zděný z plných skleněných cihel namáhaný tlakem

Prohlašuji, že jsem uvedenou disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitelky prof. Ing. Marty Eliášové, CSc.

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury.

Disertační práce vznikla v souvislosti s řešením projektu:

V Praze dne

10. 2. 2023

.....
podpis

ANOTACE

Přestože sklo jako materiál a zdivo jako konstrukční prvek jsou známy každý již tisíce let, jejich spojení a využití plných skleněných cihel jako zdících prvků je otázkou přibližně posledních dvaceti let. Z architektonického pohledu je tato kombinace velmi zajímavá, ale jejímu většímu rozšíření dosud bránily nedostatečné znalosti o vhodných maltách, které by byly pro zdivo ze skleněných cihel použitelné. Sklo se s ohledem na svou vysokou pevnost v tlaku výborně hodí na použití ve zděných prvcích, které jsou většinou tlakem tradičně namáhány.

Cílem této disertační práce je rozšířit znalosti v oblasti zdiva ze skleněných cihel a vytvořit metodický postup (analytický model) pro navrhování zděných pilířů namáhaných převážně tlakem.

V této práci jsou popsány experimenty malých rozměrů, které měly za cíl vybrat nejvhodnější materiál ke spojování plných skleněných cihel. Při výběru bylo kromě mechanických vlastností zohledněno také ekonomické hledisko a náročnost manipulace s daným materiálem přímo na stavbě. Právě z důvodu vysokých požadavků na zpracování byly upřednostněny materiály na bázi cementu, tedy malty a lepidla na obklady, oproti lepidlům na bázi silikonu, polyuretanu nebo epoxidu. Následně byl vybraný spojovací materiál použit pro experimentální ověření zděného pilíře o výšce 3 m. Experiment byl proveden celkem na dvou zkušebních tělesech a doplněn zkouškami odolnosti pilíře vůči nárazu měkkým a tvrdým břemenem. Výsledky experimentů byly použity na validaci numerického modelu vytvořeného v programu ANSYS, který následně posloužil k vypracování parametrické studie. Na základě výsledků všech provedených experimentů a studií byla shrnuta doporučení, jak postupovat při návrhu takovýchto konstrukcí v praxi.

ABSTRACT

Although glass as a material and masonry as a structural element have each been known for thousands of years, their combination and the use of solid glass bricks as masonry elements has been a matter of approximately the last twenty years. From an architectural point of view, this combination is very interesting, but its wider spread has so far been hindered by a lack of knowledge about suitable mortars that would be usable for glass brick masonry. Due to its high compressive strength, glass is ideally suited for use in masonry elements that are traditionally loaded by pressure.

The aim of this dissertation is to expand knowledge in the field of masonry made of glass bricks and to create a methodical procedure (analytical model) for the design of masonry pillars loaded mainly by pressure.

This work describes experiments of small dimensions, which aimed to select the most suitable material for joining solid glass bricks. In addition to the mechanical properties, the selection also took into account the economic aspect and the difficulty of handling the given material directly on the construction site. Precisely because of the high processing requirements, cement-based materials, i.e. mortars and tile adhesives, were preferred over silicone, polyurethane or epoxy-based adhesives. Subsequently, the selected connecting material was used for experimental verification of a masonry pillar with a height of 3 m. The experiment was carried out on a total of two test specimens and supplemented with tests of the pillar's resistance to impact by soft and hard loads. The results of the experiments were used to validate the numerical model created in the ANSYS program, which was subsequently used to develop a parametric study. Based on the results of all conducted experiments and studies, recommendations were summarized on how to proceed with the design of such constructions in practice.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych předně rád poděkoval své vedoucí prof. Ing. Martině Eliášové, CSc. za odborné vedení a pomoc při vypracování této práce, dále bych rád poděkoval Ing. Zdeňku Sokolovi, Ph.D. za konzultace nad numerickým modelem vytvořeným v programu ANSYS a pomoc při přípravě a realizaci experimentů. Stejně tak si zaslouží poděkování pracovníci Experimentálního centra Fakulty stavební ČVUT v Praze, bez jejichž podpory a materiálového vybavení by nebylo možné provést experimenty.

Za hmotnou pomoc děkuji firmě Vitrablok s.r.o., která dodala skleněné cihly a některé ze zkoušených malt.

Na závěr děkuji své rodině, která mě během studia podporovala jak psychicky, tak finančně.

OBSAH

PROHLÁŠENÍ	I
ANOTACE	II
ABSTRACT	II
PODĚKOVÁNÍ.....	III
OBSAH.....	IV
1 ÚVOD	1
2 HISTORIE A VÝROBA SKLA	1
2.1 Historie.....	1
2.2 Výroba.....	1
3 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI SKLA.....	2
3.1 Složení.....	3
3.2 Mechanické vlastnosti	3
4 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ KE SPOJOVÁNÍ SKLA	4
4.1 Polymery	4
5 ZDIVO ZE SKLENĚNÝCH CIHEL	5
5.1 Historie zdiva.....	5
5.2 Malty	6
5.3 Současný stav problematiky zdiva ze skleněných cihel	7
5.4 Příklady realizovaných konstrukcí	13
5.5 Numerické modelování zdiva	21
6 NOSNÉ ZDIVO Z PLNÝCH SKLENĚNÝCH CIHEL.....	23
6.1 Cíle disertační práce	23
6.2 Metody použité k dosažení cílů	23
6.3 Dílčí etapy řešení disertační práce.....	23
6.4 Experimentální výzkum	24
7 PRVNÍ ETAPA EXPERIMENTŮ	24
7.1 Smykové zkoušky spojovacích malt.....	24
7.2 Zkoušky adheze malt	32
7.3 Zkoušky spojovacích materiálů v tahu za ohybu a v tlaku.....	35
7.4 Zkoušky skleněných cihel v tahu za ohybu (tříbodový ohyb)	39
7.5 Zkoušky skleněných cihel v tlaku	43
7.6 Vyhodnocení první etapy experimentů.....	45
8 DRUHÁ ETAPA EXPERIMENTŮ	46
8.1 Zkoušky zdiva v tlaku	46
8.2 Zkouška zděného pilíře	57
8.3 Použité zkušební a měřicí zařízení	61
8.4 Zděný pilíř zatížený centrickým tlakem – experiment 01	62
8.5 Ověření odolnosti zděného pilíře proti nárazu.....	67
8.6 Destruktivní zkouška zděného pilíře výšky 1,2 m.....	75
8.7 Zděný pilíř zatížený excentrickým tlakem – experiment 02	77
9 NUMERICKÝ MODEL A PARAMETRICKÁ STUDIE.....	87
9.1 Popis modelu	87
9.2 Verifikace modelu.....	91

9.3	Validace modelu.....	92
9.4	Parametrická studie	96
10	NÁVRHOVÝ MODEL ZDĚNÉHO PILÍŘE Z PLNÝCH SKLENĚNÝCH CIHEL.....	99
11	ZÁVĚR.....	103
11.1	Způsob spojování cihel	103
11.2	Navrhování tlačných konstrukčních prvků ze skleněných cihel.....	104
11.3	Hlavní dosažené cíle	104
11.4	Doporučení pro návrh zdiva ze skleněných cihel	104
11.5	Hodnotné výstupy	105
12	NAVRHOVANÝ NAVAZUJÍCÍ VÝZKUM.....	105
12.1	Požární odolnost	106
12.2	Konstrukce namáhané ohybem.....	106
12.3	Doporučení pro numerický model v navazujícím výzkumu	108
13	BIBLIOGRAFIE.....	109
14	PUBLIKACE AUTORA.....	112
15	PŘÍLOHY	115
	PŘÍLOHA A TABULKY.....	115
A.1.	Smykové zkoušky	115
A.1.	Zkoušky adheze	116
A.1.	Materiálové zkoušky malt.....	117
	PŘÍLOHA B TECHNICKÉ LISTY K POUŽITÝM SPOJOVACÍM MATERIÁLŮM.....	120
B.1.	Trass-Natustein Mörtel	120
B.2.	Vetromalta.....	121
B.3.	Fixoglass	121
B.4.	Flexibilní lepidlo (bílé)	123
B.5.	Flexibilní lepidlo (šedé)	124
B.6.	Nivoplan	125
B.7.	Planicrete	125
B.8.	Keraquick	126
B.9.	Latex Plus	127
B.10.	Aradit 2018	128

1 ÚVOD

Sklo patří mezi významné materiály z hlediska uplatnění v průmyslu, stavebnictví, architektuře i umění. Z historického hlediska bylo ve stavebnictví nejvíce používáno k zasklívání okenních a dveřních otvorů, kde nosnou funkci plní rám, do kterého jsou tabule skla upevněny. S rozvojem ocelových konstrukcí se sklo začalo používat na fasády a zastřešení, kde slouží jako výplň mezi nosnou konstrukcí, ke které je sklo připevněno po obvodu, popřípadě bodově. V posledních letech se však využívá i nosné funkce skla a vznikají tak skleněné konstrukční prvky, jako jsou žebra, nosníky a sloupy, které jsou schopny přenášet kromě vlastní tíhy i zatížení sněhem, větrem a užitém zatížením.

2 HISTORIE A VÝROBA SKLA

2.1 Historie

První zmínky o materiálu na bázi skla se dle [1] datují do 5. a 4. tisíciletí před naším letopočtem a pocházejí z východního středomoří. S největší pravděpodobností vzniklo jako vedlejší produkt keramické výroby, kdy došlo k roztavení křemenného písku a vzniku křemenného skla. Do Evropy se sklo dostává díky Římské říši zakládáním skláren v oblasti Egejského moře a dnešní Itálie. První písemná zmínka o skle na našem území pochází z roku 1162.

Výroba okenního plochého skla vznikla na přelomu 3. a 4. století našeho letopočtu. K rozkvětu sklářství napomohl městský stát Benátky, kde se začala vyrábět tzv. Benátská zrcadla a nádherné mozaiky.

V polovině 19. století se začalo sklo používat nejen jako výplň otvorů, ale částečně jako nosný prvek. Thadeus Hayatt využil skleněné dlaždice, vložené do ocelového roštu a umístil je do chodníků, aby prosvětлил sklepní prostory. Od roku 1886 [2] vyráběl Gustave Falconnier skleněné cihly foukáním v oválných a šestihranných formách. Tyto tvárnice byly oproti předcházejícím cihlám duté, měly tedy daleko lepší izolační vlastnosti, a to jak po stránce tepelně technické, tak po stránce akustické. Od roku 1899 jsou známy skleněné tvarovky od firmy Luxfer-Prismen [3], které se umísťovaly do kovového rámu. Později se přešlo z foukaných tvárnic na tvárnice lisované, které vznikají lisováním ve formách a následným spojením obou polovin dohromady. Tyto duté tvárnice se používají dodnes, i přesto, že jejich izolační vlastnosti nejsou dostačující a používají se proto v místech, kde příliš nevádí velká ztráta tepla, nebo v interiérech.

V 18. a 19. století dochází k rozvoji ocelových konstrukcí. Výplň mezi nosnými prutovými prvky je možné nahradit nenosným prvkem. Dochází tak k uplatnění skla na nenosné prvky obvodového pláště. Využitím subtilních ocelových konstrukcí vznikají například rozsáhlé skleníky, železniční stanice, obchodní domy, prosklené pasáže apod.

2.2 Výroba

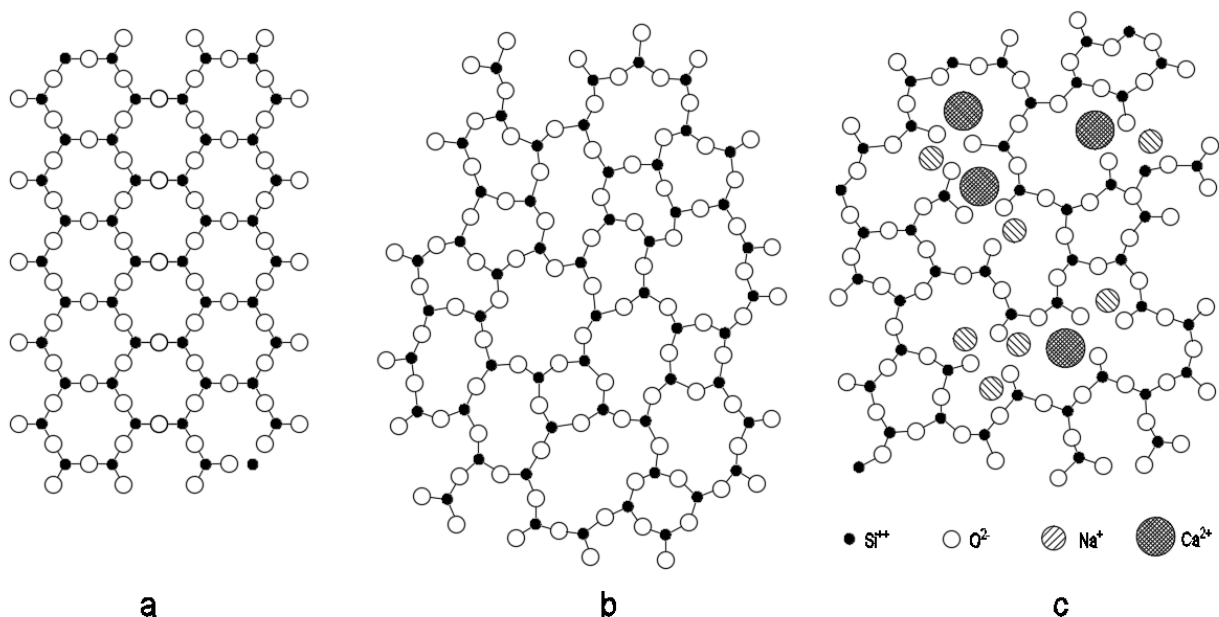
Historicky první skleněné předměty se vyráběly foukáním. Od 17. století se vyrábělo sklo litím na měděnou desku a rozvalování do požadované tloušťky. Se vzrůstající poptávkou bylo potřeba výrobu automatizovat, takže od začátku 20. století se začaly objevovat pokusy o nepřetržitou výrobu tažením skla, na které navázalo z hlediska kvality vhodnější válcování. V současnosti se v drtivé většině k výrobě tabulového plochého skla používá výrobního procesu plavení.

Jedná se o metodu, při které je sklovina o teplotě 1500 °C přiváděna z tavicí pece na hladinu roztaveného cínu, kde se vytváří pás, jehož oba povrchy jsou rovnoběžné a téměř dokonale hladké. Tento pás dále postupuje, je ochlazován pomalým snižováním teploty a po dosažení dostatečné tuhosti vstupuje do chladicí pece, z níž vystupuje jako hotový produkt nevyžadující následné broušení či leštění. První pokusy využití roztaveného kovu, které se objevily už koncem dvacátých let 20. století, nebyly příliš úspěšné. Až v roce 1957 zahájila anglická firma Pilkington Brothers výrobu zrcadlového skla plavením nepřetržitého pásu na hladině cínu. Výhodou této metody je její nepřetržitost, kdy na jedné straně se do tavicí vany sypou suroviny a na druh straně vyjíždí oboustranně hladká rovnoměrně tlustá tabule. Skla vyráběná plavením mohou být velmi tenká, dokonce v tloušťkách pod 1 mm, tloušťka tabule je dána rychlostí vytahování skleněného pásu z pece.

Výrobky z netabulového skla, jako jsou například duté tvárnice (tzv. luxfery) nebo plné skleněné cihly, se vyrábí většinou odléváním a vyfukováním nebo lisováním do forem. Pro použití mimo stavebnictví, převážně v oblasti obalových materiálů dekoračních předmětů se stále používá metoda foukání skla.

3 MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI SKLA

V obecném pojetí je sklo amorfni anorganická pevná látka vzniklá rychlým ochlazením tak, aby nevznikla krystalická mřížka. Pod pojmem sklo se tak myslí nejčastěji látka, jejímž základem je oxid křemičitý (SiO_2). Čistě křemičité sklo má výborné optické vlastnosti, používá se proto například v optice nebo při výrobě optických kabelů. Ve stavební praxi se setkáváme častěji se sodno-vápenato-křemičitém sklem, které má sice horší některé vlastnosti, jako například velkou teplotní roztažnost nebo nízkou odolnost proti vysokým teplotám, na druhou stranu se sklářský kmen taví při zhruba poloviční teplotě než v případě čistě křemenného skla, což značně snižuje náklady na výrobu. V následujících odstavcích proto bude pod pojmem sklo myšleno právě sodno-vápenato-křemičité sklo. Rozdíly mezi krystalickými mřížkami krystalického SiO_2 , amorfniho SiO_2 a sodno-vápenato-křemičitého skla jsou patrné z obr. 3.1.



Obr. 3.1: Porovnání struktury krystalického SiO_2 (a), amorfniho SiO_2 (b) a sodno-vápenato-křemičitého skla (c), [4],[5]

3.1 Složení

Sklo je směsí křemičitanů sodných, draselných, vápenatých, olovnatých nebo barnatých a dalších látek, zejména oxidů kovů.

Základní surovinou pro výrobu skla jsou sklářské písky. Jedná se z velké většiny o křemenné písky. Sklářské písky obsahují kromě křemene i další minerály, jejichž obsah je nutné při výrobě jakostních skel snížit z důvodu jejich vlivu na vlastnosti skla, jako je jeho průhlednost nebo barevnost. Jedná se především o živce, slídy a oxid železitý (Fe_2O_3), titaničitý (TiO_2) a hlinitý (Al_2O_3). V tab. 3.1 jsou shrnuty procentuální podíly jednotlivých složek tak, jak jsou pro stavební skla uvedeny v normě ČSN EN 572-1 [6].

Tab. 3.1: Typický příklad složení plaveného skla, [6]

Složka	Procentový podíl
Oxid křemičitý (SiO_2)	69 – 74
Oxid sodný (Na_2O)	10 – 16
Oxid vápenatý (CaO)	5 – 14
Oxid hořečnatý (MgO)	0 – 6
Oxid hlinitý (Al_2O_3)	0 – 3
Minoritní materiály (barevné modifikátory a náhodné nečistoty ze surovin)	0 – 5

3.2 Mechanické vlastnosti

Sklo je pověstné svou křehkostí, kromě toho se jedná o materiál s vysokou transparentností, díky které se používá jako výplň otvorů. Obecně se jedná při běžných teplotách o homogenní materiál s vysokou tuhostí a velkou pevností v tlaku, naproti tomu pevnost v tahu je nízká. Velkou výhodou skla je jeho odolnost proti chemickým látkám, které se využívá především při výrobě nádob a laboratorního skla. Ve stavebnictví se využívá nepropustnosti skla vůči vodě a vzduchu. V posledních letech se využívá kombinace vysoké pevnosti v tlaku a izolačních vlastností tzv. pěnového skla, pomocí kterého se oddělují například základové konstrukce od zdiva, v tomto případě sklo samotné slouží jako izolace proti vlhkosti a uzavřené vzduchové mezery tvoří tepelnou izolaci. V tab. 3.2 jsou shrnuty vybrané vlastnosti skla v porovnání s ocelí a betonem.

Teoretická pevnost skla v tahu se pohybuje řádově v desítkách GPa [9], jedná se ale o hodnotu odvozenou z meziatomárních sil a skutečná hodnota (uvedená v tab. 3.2) je mnohonásobně nižší z důvodu výskytu strukturálních nehomogenit a mikroskopických, tzv. Griffithových, trhlinek vznikajících například při výrobě, instalaci nebo údržbě. Na základě toho lze říci, že čím déle je sklo používáno, tím více na něm vzniká mikrotrhlin a tím nižší je jeho tahová pevnost. Pevnost v tahu také závisí na délce trvání zatížení, z toho pohledu jsou příznivější krátkodobá zatížení s délkou trvání v řádech sekund a naopak stálá a dlouhodobá zatížení působící v řádech dnů jsou nepříznivá, [10].

Tab. 3.2: Mechanické vlastnosti skla, [1],[7],[8]

Vlastnost	Materiál		
	Ocel S235	Beton C20/25	Sklo
Objemová hmotnost ρ [kN/m ³]	78,5	22	25
Modul pružnosti E [GPa]	210	30	72
Poissonovo číslo μ [kN/m ³]	0,3	0,2	0,2
Pevnost v tahu $f_{t,k}$ [MPa]	235 (mez kluzu)	2,2	30 – 100
Pevnost v tlaku $f_{c,k}$ [MPa]	235 (mez kluzu)	20	700 – 900
Tvrdość podle Mohse [–]	5 – 8,5	–	6

4 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ KE SPOJOVÁNÍ SKLA

Vzhledem k vysoké křehkosti skla je třeba věnovat zvýšenou pozornost napojení na ostatní stavební konstrukce. Z historického hlediska, kdy skleněné tabule sloužily jako výplň otvorů v nosných konstrukcích, byly používány sklenářské tmely spojující skleněnou tabuli s dřevěným rámem.

S rozvojem použití skla pro konstrukční účely bylo třeba hledat vhodné materiály, které by měly dostatečnou tuhost na přenesení zatížení, ale na druhou stranu i vysokou pružnost, aby nedocházelo ke vzniku špiček napětí a tím k destrukci skla. V případě šroubovaných spojů se mezi sklo a navazující nosnou konstrukci vkládá pružná mezivrstva například z tvrzené pryže nebo z měkkých plastů. Se šroubovanými spoji je ale spojena řada komplikací, například koncentrace napětí v okolí přípoje nebo nutnost vrtání do skla. Jako alternativy se proto používá lepených spojů. Díky technologickému vývoji, který jde neustále dopředu, je dnes možné vytvoření transparentních spojů skleněných konstrukcí, což je velmi atraktivní, protože vzhled není narušen šrouby či ocelovými příložkami a styčnickými plechy.

Pro spojování tabulového skla se v dnešní době nejčastěji používá lepidel na bázi polymerů. Naopak pro zdění ze skleněných cihel a tvárnic je nejtypičtější použití materiálů na bázi anorganických pojiv (malt).

4.1 Polymery

Polymery jsou obecně látky složené z velkého množství opakujících se částí, [11], [12]. Vznik polymerů probíhá při polyreakci (polymerace, polyadice nebo polykondenzace). Od jiných materiálů se odlišují řetězovou strukturou, kdy převažující strukturální obrazec představuje dlouhá lineární řada vzájemně propojených atomů, nebo skupin atomů.

Na základě mechanických vlastností se polymery dělí na plastomery (plasty) a elastomery (kaučuky). Plastomery lze dále dělit podle termomechanických vlastností na termoplasty a termosety (reaktoplasty).

4.1.1 Elastomery

Hlavní vlastností elastomerů je jejich vratná deformace, tzn. že po aplikaci malého napětí a následném odtížení dochází k vrácení do původního tvaru. Jejich modul pružnosti bývá velmi nízký a schopnost protažení bez trvalé deformace může být až na několiknásobek původní délky. S klesající teplotou klesá i jejich pružnost a po překročení tzv. teploty skelného přechodu se stávají křehkými. Použití nacházejí především jako těsnění a lepidla, typickými zástupci jsou silikony, kaučuky nebo jednosložkové polyuretany.

4.1.2 Plastomery

Na rozdíl od elastomerů je deformace nevratná. Termoplasty působením tepla měknou, lze je opakovaně roztavit a ochlazením převést do tuhého stavu. Příklady běžných termoplastů jsou polyethylen, polystyren polymethylmethakrylát (plexisklo) nebo polyvinylbutyral (PVB). PVB folií se využívá při výrobě vrstvených skel, kdy se mezi skleněné tabule umístí PVB folie a následně dojde v autoklávu k roztavení PVB folie na kapalinu, která po ochlazení opět vytvrdne a spojí skleněné tabule k sobě.

Termosety mění zahříváním nad 200 °C svou strukturu a přechází do netavitelného a nerozpustného stavu. Po vytvrzení termosetů se zvyšuje odolnost proti působení vnějších vlivů (např. klimatických) a proti vysoké teplotě. K typickým zástupcům termosetů patří například akryláty, epoxidové pryskyřice nebo polyuretany.

5 ZDIVO ZE SKLENĚNÝCH CIHEL

5.1 Historie zdiva

Zdivo bylo historicky využito jako jeden z prvních stavebních prvků při konstrukci obydlí našich předků, což dokazují historické stavby, které se dochovaly ze starověku. Z materiálového hlediska lze zdivo rozdělit na zdivo kamenné, keramické, betonové a z ostatních materiálů. Zděné konstrukce je možné provádět nevyztužené nebo vyztužené, [13], [14].

5.1.1 Kamenné zdivo

O prvních zděných konstrukcích lze hovořit v souvislosti s rovnáním jednotlivých kamenů na sebe na sucho. Tímto postupem vzniká tzv. kyklopské zdivo, které je tvořeno v podstatě neopracovanými, nebo jen velmi hrubě opracovanými kameny srovnanými tak, aby svým tvarem zapadaly do sebe a tvořily jedolitou stěnu. Později s rozvojem civilizace docházelo ke zlepšování postupu zdění, například úpravou jednotlivých kamenů. Postupně tak vznikalo zdivo lomové, haklíkové, řádkové a kvádrové. Tyto typy zdiva už se většinou zdí za pomoci malty, která má za úkol pojit jednotlivé zdící prvky k sobě. Na lomové zdivo se používá kamenů v takovém stavu, v jakém jsou dodány z lomu. Pro zlepšení lícové strany stěny se lomové kameny upravují tak, že strana, která bude tvořit líc stěny, se opracuje a ostatní se ponechají v původním stavu. Tímto postupem vzniká haklíkové zdivo. Skládáním stejně vysokých haklíkových zdících prvků do jednotlivých řádků vzniká řádkové zdivo. Posledním typem kamenného zdiva je kvádrové zdivo, kdy jsou jednotlivé zdící prvky opracovány ze všech stran do tvaru kvádrů. Moderní variantou kamenného zdiva jsou tzv. gabionové stěny tvořené koši z ocelového pletiva vyplněné rovným těžkým nebo lomovým kamenem.

5.1.2 Keramické zdivo

V oblastech s nedostatkem kamenů vhodných pro zdění bylo potřeba najít alternativu. Tou se staly cihly z hlíny nebo jílových materiálů. Zpočátku se jednalo o nepálené cihly vzniklé udusáním vlhké hlíny nebo jílu případně s příměsí slámy nebo prasečích štětin pro zvýšení únosnosti do tvaru kvádrů a následném usušení na slunci. Nepálené cihly jsou vhodné do suchých oblastí s malými srážkami, neboť navlhnutím ztrácí tvar a stěna se rozpadá. Z toho důvodu se postupně přešlo na používání cihel pálených, kdy jsou usušené cihly vloženy do pece a vypáleny při teplotě 700 až 1000 °C. Se zvýšením požadavků na tepelně a zvukově izolační vlastnosti stěn převážně ve dvacátém století, se začaly vyrábět nejdříve cihly děrované a následně duté keramické tvárnice, jejichž použití je v současnosti v oblasti zděných konstrukcí dominantní.

5.1.3 Zdivo z ostatních materiálů

Zdící prvky je možné kromě výše zmíněných dvou materiálů vyrobit z libovolného materiálu tak, aby splňoval na něj kladené požadavky. Může se jednat například o estetické, tepelně-technické nebo zvukově izolační vlastnosti. Používají se tak například cihly z pórobetonu, který má oproti keramickým materiálům lepší tepelné a zvukově izolační vlastnosti. Dále se vyrábí betonové tvárnice, které dosahují vyšších únosností, šamotové cihly mají vyšší odolnost proti zvýšené teplotě. Od devatenáctého století se používají i duté skleněné tvárnice, které budou popsány níže. V minulosti také vznikaly zděné konstrukce ze smíšeného zdiva například tzv. hrázděné konstrukce, které jsou tvořeny kombinací keramických cihel a dřevěných rámců. V minulosti se kombinovalo zdivo keramické se zdivem kamenným, kdy kameny byly použity na více namáhané prvky jako jsou nadpraží nebo nároží.

Současná architektura je typická snahou o atraktivní návrh konstrukcí a použití netradičních materiálů. Takovým příkladem, který byl v poslední době použit na zdivo, jsou plné skleněné cihly. Pro jejich spojování je možné použít stejně jako v případě tabulového skla polymerní lepicí hmoty, ale s ohledem na estetickou podobnost s klasickým zdivem lze předpokládat i použití malt.

5.2 Malty

Jako malty jsou označovány směsi drobného kameniva, anorganického pojiva a vody s případnými přísadami a příměsemi. Tato definice je téměř shodná s definicí betonu, zásadní rozdíl ale je, že v betonu je navíc i větší kamenivo a za organické pojivo se nejčastěji používá cement. Malty mohou být podle typu použitého kameniva děleny například na vápenné, sádrové, cementové nebo s jinými hydraulickými pojivy.

Z hlediska evropských norem se malty dělí na malty pro zdění [15] a na malty pro vnitřní a vnější omítky [16].

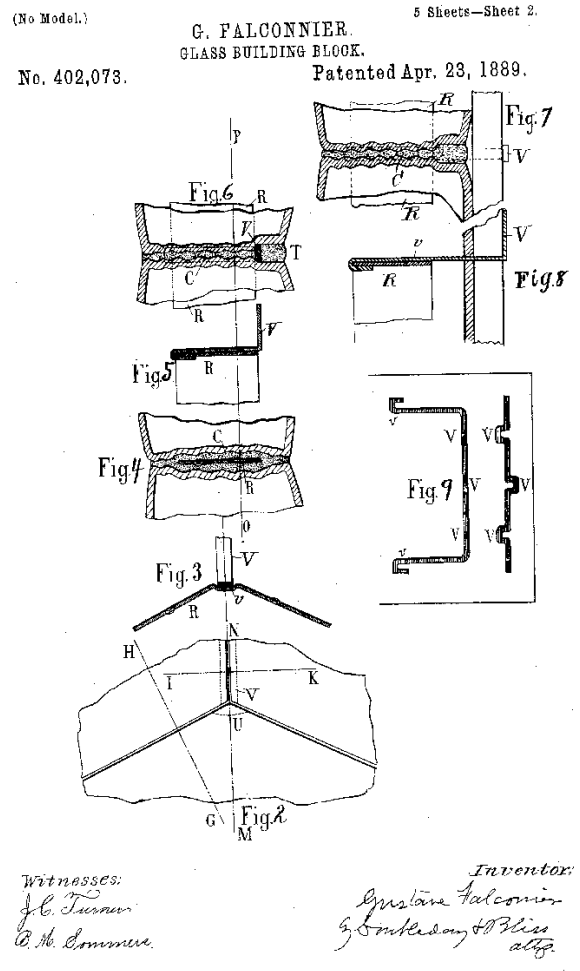
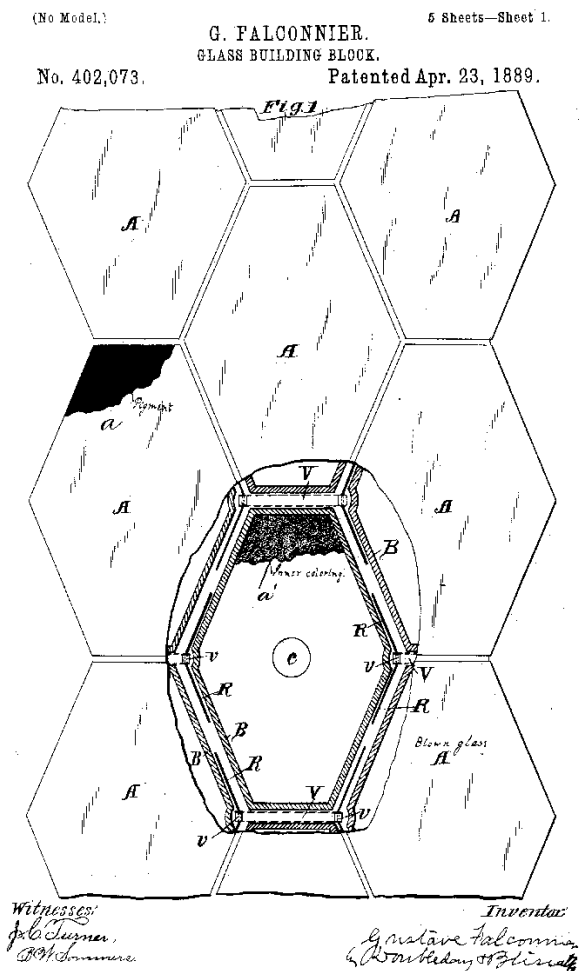
5.2.1 Malty pro zdění

Malty pro zdění jsou definovány v ČSN EN 998-2 [15], kde jsou specifikovány požadavky na čerstvou (např. doba zpracovatelnosti nebo objemová hmotnost) a zatvrdlou maltu (pevnost v tlaku, soudržnost a objemová hmotnost). Podle způsobu výroby se malty dělí na dva druhy – návrhovou a předpisovou maltu. Zatímco návrhová malta je definována tak, že výrobce volí složení a výrobní postup, tak aby byly splněny předepsané vlastnosti, u předpisové malty se jedná o výrobek ze stanoveného poměru složek, jehož vlastnosti se posuzují podle použitého poměru. Podle použití lze dále malty

dělit na obyčejnou maltu pro zdění, maltu pro tenké spáry a lehkou maltu pro zdění. Dále lze malty dělit podle způsobu míchání na staveništní, kdy se malta míchá z jednotlivých složek, a průmyslově vyráběné malty, které se nadávkuje ve výrobě a na stavbu se dovezou buď ve formě tzv. mokré malty, tj. kompletně namíchané směsi, nebo tzv. suché malty, ke které je nutné na stavbě přidat v příslušném poměru pouze vodu.

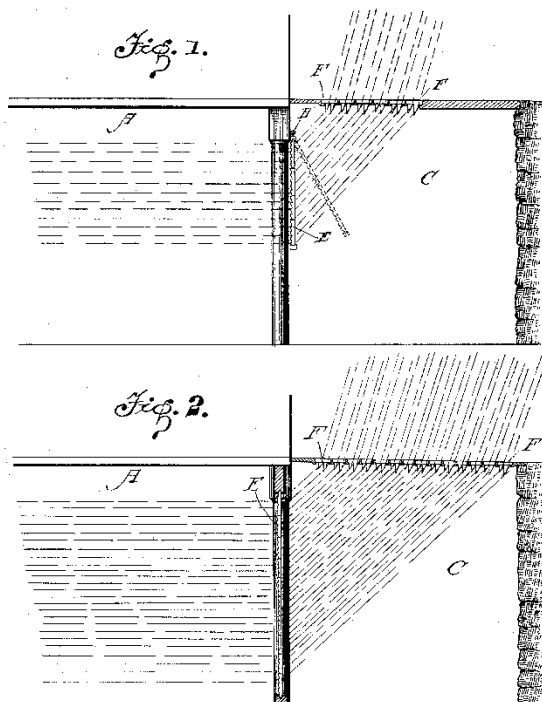
5.3 Současný stav problematiky zdiva ze skleněných cihel

Přestože sklo se na konstrukční prvky používá jen několik málo let, vznik skleněných tvárnic se datuje ke konci 19. století. První patent [17] na skleněné tvárnice podal Gustave Falconnier ve Francii v roce 1886, ten se týkal použití plných skleněných cihel, nebo dutých tvárnic v kovovém rámu. Na obr. 5.1 jsou výkresy přiložené k Falconnierovu patentu. K prosvětlení sklepních prostor zabetonováním se zpočátku používalo plných skleněných tvarovek nebo skleněných dlaždic zabetonovaných do chodníku, který tvořil střechu světlíku suterénu [18], [19], viz obr. 5.2.



Obr. 5.1: Obrazové přílohy k Falconnierovu patentu, [17]

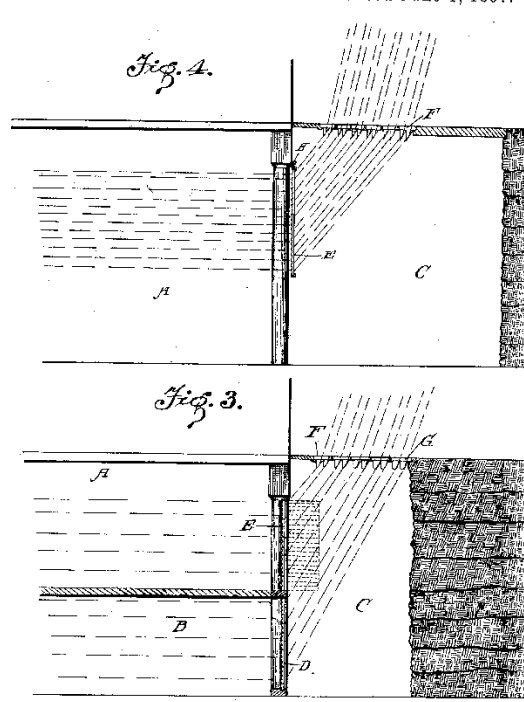
(No Model.) J. G. PENNYCUICK. 2 Sheets—Sheet 1.
 DEVICE FOR ILLUMINATING BASEMENTS AND DARK ROOMS.
 No. 583,580. Patented June 1, 1897.



Witnesses:
A. R. Appleman
C. A. Longfellow

Inventor:
James G. Pennycuick
 By *David D. Parker*
Att'y.

(No Model.) J. G. PENNYCUICK. 2 Sheets—Sheet 2.
 DEVICE FOR ILLUMINATING BASEMENTS AND DARK ROOMS.
 No. 583,580. Patented June 1, 1897.



Witnesses:
A. R. Appleman
C. A. Longfellow

Inventor:
James G. Pennycuick
 By *David D. Parker*
Att'y.

Obr. 5.2: Obrazové přílohy k patentu J. G. Pennycuicka, [19]

5.3.1 Duté tvárnice

První duté cihly byly foukány ručně pouze za použití sklářských píšťal, [20]. Tento způsob výroby nebyl ale příliš efektivní a pro výrobu většího množství tvárnice ne příliš vhodný. S větším rozšířením těchto tvárnice se zvýšila i potřeba výroby většího množství. Výsledkem snahy o splnění tohoto požadavku bylo ruční lisování dvou polovin skleněných tvárnice a jejich následné lepení dohromady. Později se tento postup automatizoval a dnes je lisování a spojování obou půlek tvárnice dohromady plně automatické.

Použití dutých skleněných tvárnice je výhodné z hlediska jejich tepelně-technických vlastností. Přestože při dnešních nárocích na prostup tepla obvodovým zdívem není možné použít ani duté tvárnice, jejich tepelně-technické vlastnosti jsou pořád lepší než u plných cihel. Na druhou stranu z hlediska únosnosti jsou duté tvárnice zcela nevhodné pro konstrukční účely a používají se pouze na výplně otvorů a nosnou funkci zajišťuje jiná konstrukce. Tvárnice přenáší pouze vlastní tíhu případně zatížení větrem, pokud se jedná o fasádní zdivo. Duté tvárnice proto v současnosti nachází uplatnění převážně v interiéru případně v exteriéru pro oddělení nevytápěných prostor, jako jsou garáže, chodby, schodiště a podobně, [21], viz obr. 5.3.



Obr. 5.3: Příklad použití dutých skleněných tvárnic, [21]

Tradičně se na spojování tvárnic používá malt, v současné je možné využít suchého způsobu zdění pomocí systému plastových křížů a rámečků, které tvoří rastr, ve kterém jsou umístěny jednotlivé tvárnice, viz obr. 5.4 a obr. 5.5. Tento systém umožňuje použití nerezové výztuže, která zvyšuje tuhost celé stěny a je tak možné udělat větší rozpory. Po vyzdění se stěna přespáruje maltou a tím se zakryjí platové rámečky. Hlavní výhodou tohoto systému je snadnost a rychlost výstavby.



Obr. 5.4: Systém plastových rámečků připravený na osazení tvárnic



Obr. 5.5: Skleněné tvárnice osazené v systému plastových rámečků a křížů

Kromě toho se používá i systém hliníkových rámu, do kterých se zdí a poloha jednotlivých tvárnic je zajištěna pomocí plastových distančních křížků umístěných v rozích jednotlivých tvárnic, viz obr. 5.6. Při použití tohoto systému se spáry mezi tvárnicemi vyplňují silikonem, [22], [23].



Obr. 5.6: Ezyloy systém využívající hliníkových U-profilů, [23]

Pro urychlení výstavby a zlepšení estetických vlastností výsledného zdiva se vyrábí sklo-betonové panely (obr. 5.7), které se vyrobí v továrně a na stavbu se dovezou jako celek. Tyto panely se často používaly například na vodorovné konstrukce, kde by bylo zapotřebí v případě betonáže na místě bednění po celou dobu tuhnutí betonu. V případě prefabrikovaných panelů stačí pouze usadit dovezený panel a stavba může dále pokračovat, [24].



Obr. 5.7: Prefabrikovaný panel z dutých skleněných tvárníc, [24]

5.3.2 Plné skleněné cihly

Cihly tvořené masivním blokem skla prozatím své uplatnění teprve nachází. Je to způsobeno mimo jiného i tím, že prozatím neexistuje žádná metodika pro navrhování takových konstrukcí a zkušenosti s chováním takto vystavených stěn jsou jen velmi malé. Po celém světě bylo prozatím vystavěno jen několik málo konstrukcí, kde plné skleněné cihly plní i nosnou funkci. O něco málo rozšířenější je použití skleněných cihel na nenosné konstrukce, jako jsou barové pulty, dělicí příčky nebo dekorativní použití v klasickém zdivu. O tom, že zdivo ze skleněných cihel má do budoucna své využití, svědčí například nikdy nerealizovaný projekt z roku 2009 architekta Josepha Pella Lombardiho The Glass Atelier, viz obr. 5.8, který předpokládal využití skleněného zdiva na celou čelní fasádu šestipodlažního domu, [25], [26].

Na trhu jsou v současnosti nejvíce k vidění plné skleněné cihly od italské firmy Poesia, obr. 5.9, [27], nebo skupiny Seves Group, jejíž členem je i česká firma Vitrablok s.r.o., viz obr. 5.10, [28].

Cihly Poesia se vyrábí ručně v mnoha různých tvarech a formátech, k jejich spojování výrobce dodává speciální maltovou směs nebo doporučuje pro transparentní spáry použití polymerového lepidla na bázi silanu. Dle výrobce lze tyto cihly použít i na nosné konstrukce.

Cihly VetroPieno od firmy Vitrablok jsou vyráběny automaticky lisováním do forem. Vyrábí se dva formáty – základní cihla tvaru kvádrů o rozměrech 24 x 11,7 x 5,3 cm a poloviční cihla 12 x 11,7 x 5,3 cm. Výrobce doporučuje pro spojování používat organická pojiva s vysokou přilnavostí, chemickou a mechanickou odolností, vícesložková epoxidová lepidla nebo sklenářský silikon. Zdivo z těchto cihel je prozatím prezentované jako nenosné, schopné přenést pouze vlastní tíhu. Jejich použití je proto možné pouze v interiéru na dělicí konstrukce.



Obr. 5.8: Studie domu s fasádou ze skleněných cihel The Glass Atelier, [26]



Obr. 5.9: Příklad realizace z cihel Poesia, [27]



Obr. 5.10: Příklad realizace z cihel VetroPieno, [28]

5.4 Příklady realizovaných konstrukcí

V praxi bylo v poslední době realizováno několik konstrukcí, které využívají plně skleněné cihly plnicí alespoň částečně nosnou funkci.

5.4.1 Umělecká plastika Open Wall Project, [29], [30]

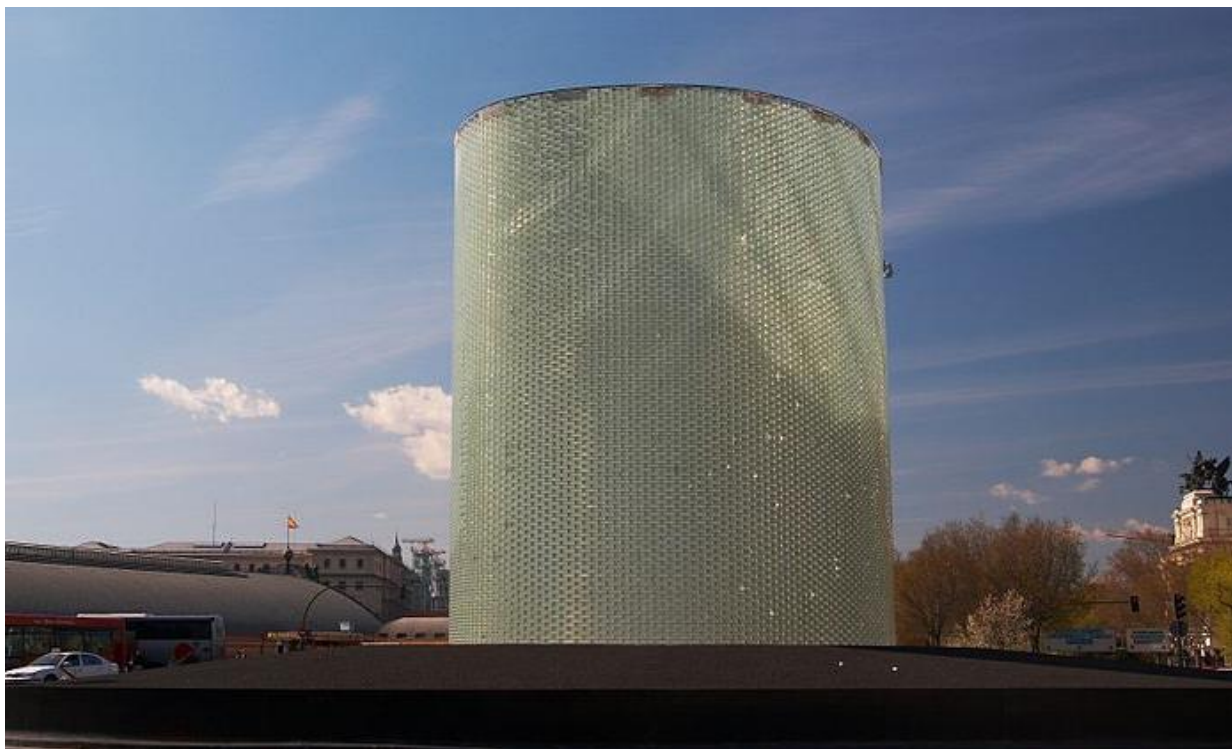
Čínská umělkyně Shan Shan Sheng vytvořila na 53. ročník výstavy Biennale v italských Benátkách v roce 2009 plastiku tvořenou zdivem z plných skleněných cihel. Celkem bylo použito 2200 cihel, tento počet má symbolizovat 2200 let historie Velké čínské zdi. Celkové rozměry plastiky byly 61 x 1829 x 183 cm (2 x 60 x 6 stop). Následující rok byla podobná plastika o délce cca 20 m, tloušťce 55 cm a výšce 2 m (3 x 60 x 7 stop) vystavena na výstavě Expo v Šanghaji a v roce 2011 v muzeu Kampa v Praze, obr. 5.11. Vzhledem k tomu, že se jedná o umělecké dílo a nikoli konstrukční prvek, nejsou na skleněné cihly kladeny žádné konstrukční požadavky kromě přenosu zatížení vlastní tíhou. Cihly byly vyrobeny ručním odléváním do forem. Ke spojení bylo použito transparentní polymerové lepidlo.



Obr. 5.11: Plastika Open Wall Project, [29]

5.4.2 Památník Atocha Memorial v Madridu, [31], [32]

Tento památník věnovaný obětem teroristického útoku v Madridu je tvořený podzemní místností a nadzemní skleněnou konstrukcí tvaru elipsovitého válce, obr. 5.12. Skleněný válec je umístěn nad otvorem ve stropu podzemní místnosti. Svislé nosné konstrukce jsou tvořeny zdivem ze skleněných cihel a vodorovnou stropní konstrukcí tvoří skleněné tabule z vrstveného tvrzeného skla podepřené pěti skleněnými nosníky opět z vrstveného tvrzeného skla. Tato konstrukce byla první konstrukcí z plných skleněných cihel, která byla samonosná a nepotřebovala tedy žádnou podpůrnou konstrukci. Svislá konstrukce skleněného válce je vysoká 11 m a půdorysně je tvaru elipsy o rozměrech 8 x 11 m. Celkový počet cihel použitých na stavbu je přibližně 15 600.



Obr. 5.12: Památník Atocha memorial, [31]

Jednotlivé cihly o rozměrech 300 x 200 x 70 mm s přesností ± 1 mm, viz obr. 5.13, byly vyrobeny litím skloviny do formy a následným lisováním. Na výrobu bylo použito borosilikátové sklo, které je sice dražší než běžně používané sodno-vápenato-křemičité sklo, ale má lepší vlastnosti z hlediska teplotní roztažnosti, čímž se snižuje riziko prasknutí skla vlivem tepelného šoku při rychlé změně teploty. Cihly jsou ve styčných spárách spojeny pomocí zámků, které jsou tvořeny tvarem jednotlivých cihel. Vypouklá strana jedné cihly zapadne do vyduté strany cihly druhé. Tento způsob spojení umožňuje různá natočení jednotlivých cihel a tím pádem i velkou variabilitu tvaru stěny. Spojení v ložných spárách je zajištěno pomocí transparentního akrylátového lepidla vytvrzeného UV zářením. Kvůli nepřesnosti výroby skleněných cihel se pohybovala tloušťka ložné spáry do 2,5 mm, přestože běžně se pro tento typ lepidla používá tloušťka 0,3 mm. Kvůli ochraně lepidla a zamezení vnikání vody do konstrukce byly spáry po dokončení přespárovány transparentním silikonem.



Obr. 5.13: Skleněné cihly použité na památník Atocha memorial, [32]

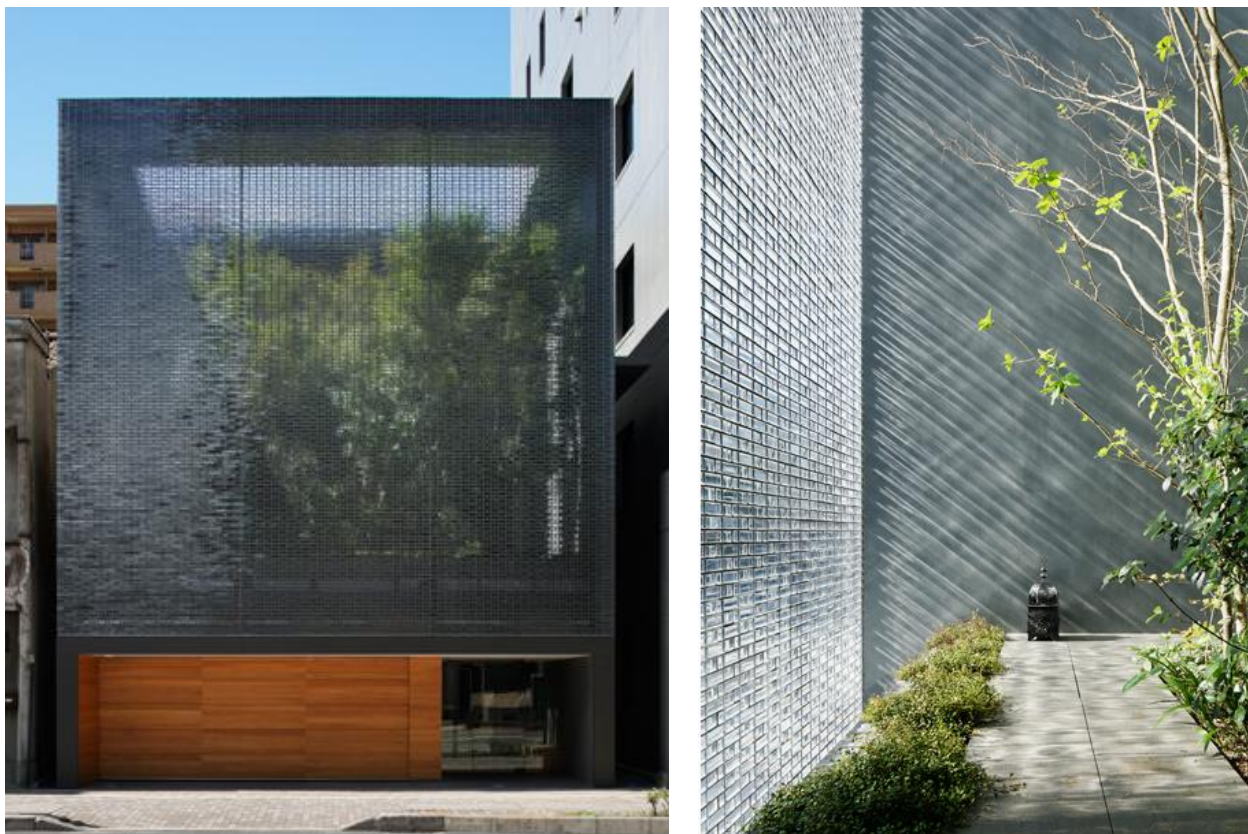
5.4.3 Optical Glass House v Hirošimě, [33], [34]

Rodinné domy v centrech měst se často potýkají s nedostatkem zeleně, tento nedostatek se podařilo vyřešit architektům a projektantům ze studia Hiroshi Nakamura & NAP zbudováním zimní zahrady oddělené od ulice předsunutou 8,6 m vysokou fasádou tvořenou skleněnými cihlami, viz obr. 5.14 a obr. 5.15. V tomto případě fasáda není zatížena žádnou navazující konstrukcí, ale přenáší pouze zatížení větrem a vlastní tíhu. Každá cihla má uprostřed dva otvory, kterými byly protaženy nerezové závitové tyče. Cihly byly následně zajištěny maticí a nerezovou deskou. Závitové tyče jsou na horním okraji ukotveny k předepnutému nosníku, který vynáší celou fasádu. Vzájemně tedy nejsou cihly spojeny maltou či lepidlem. Nosník je tvořený ocelovým rámem, který byl v odtíženém stavu předepnutý a po zhotovení fasády a zatížení nosníku vlastní tíhou fasády byl obetonován. Celkem zde bylo použito přibližně 6000 cihel vyrobených z borosilikátového skla. Jednalo se o ruční výrobu odlévání skloviny do ocelové formy.

V tomto případě sklo neplní nosnou funkci, zajišťuje pouze výplňovou, estetickou a zvukově izolační funkci fasády. Nosnou funkci zajišťují ocelové závitové tyče.



Obr. 5.14: Montáž skleněné fasády domu Optical Glass House, [34]



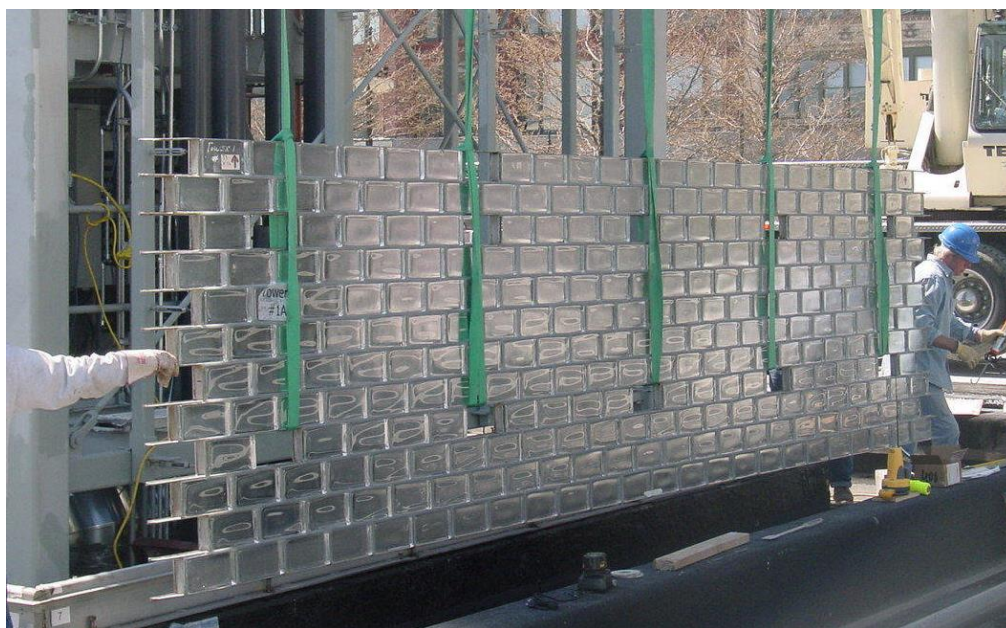
Obr. 5.15: Hotová fasáda domu *Optical Glass House*, [34]

5.4.4 Crown Fountain v Chicagu, [35], [36], [37]

V červenci 2004 byla v Chicagu dokončena stavba fontány Crown Fountain, obr. 5.16, která byla umístěna v parku Millennium. Nejvýraznějším prvkem fontány jsou dvě 15,2 m (50 stop) vysoké věže, jejichž obvodový plášť je tvořen skleněnými cihlami. Nosnou funkci zde tvoří konstrukce z nerezové oceli. Z důvodu zjednodušení montáže byly na konstrukci fasády použity prefabrikované panely, které byly na stavbě připevněny k nosné konstrukci, obr. 5.17. Panely jsou tvořeny nerezovými rámy, v nichž jsou otvory pro jednotlivé cihly, které na svém místě drží silikonový tmel. Výhodou tohoto systému je především snadná výměna poškozených cihel. Cihly o rozměrech 127 x 254 x 51 mm (5 x 10 x 2 palce) vyrobené odléváním skloviny do forem jsou na exteriérové straně leštěné a zbývajících pět hran je neupraveno.



Obr. 5.16: Fontána Crown Fountain, [37]



Obr. 5.17: Montáž fasádního panelu věže fontány Crown Fountain, [37]

5.4.5 Crystal House v Amsterdamu, [38], [39]

Na základě experimentálního výzkumu prováděného v Delft University of Technology v Nizozemí byl realizován asi v současnosti nejvýznamnější projekt využívající plně skleněné cihly. Jedná se o čelní stěnu obchodu tvořenou zdívem ze skleněných cihel ručně odlévaných do forem a spojovaných lepidlem vytvrzovaným UV zářením. Skleněné zdivo zde plní nosnou funkci, a to jak na zatížení větrem, tak na přenos svislého zatížení z horních pater, obr. 5.18 a obr. 5.19.



Obr. 5.18: Čelní fasáda domu Crystal House v Amsterdamu

Fasáda domu Crystal House je po výšce rozdělena na tři části, spodní část je tvořena zdívem ze skleněných cihel, horní část obsahuje klasické keramické lícové zdivo a mezi těmito dvěma částmi je přechodová zóna, kde dochází k prolínání obou materiálů. Celkové rozměry čistě skleněné fasády jsou 10 m na výšku a 12 m na šířku. Tloušťka skleněné fasády je na šířku jedné cihly (210 mm), zatímco stěna z klasického zdiva je na šířku dvou cihel. Z tohoto důvodu je v místě přechodu umístěn ocelový nosník vynášející zatížení od klasického zdiva. Rozměry skleněných cihel byly zvoleny tak, aby korespondovaly s keramickým zdivem. Celkem byly použity tři typy cihel o stejné výšce (65 mm) a šířce (210 mm) a třech délkách (105 mm, 157,5 mm a 210 mm). Pro snížení rizika boulení stěny byly do fasády umístěny čtyři výztužné sloupy vysoké 5,5 m. Ke spojování jednotlivých skleněných bloků k sobě bylo použito jednosložkové transparentní lepidlo vytvrzované UV zářením. V případě lepidel, jsou jejich vlastnosti závislé na tloušťce, pro toto lepidlo byla jako optimální určena tloušťka 0,1 – 0,3 mm. Tento požadavek ale kladl zvýšené nároky na přesnost výroby skleněných cihel – rozměry musely být v toleranci $\pm 0,25$ mm. Na výrobu cihel bylo zvoleno standardní sodno-vápenato-křemičité sklo, které má oproti borosilikátovému sklu vyšší koeficient tepelné roztažnosti a tím pádem i větší riziko poškození konstrukce vlivem teplotních šoků a větší objemové změny při chladnutí, ale na druhou stranu dosahuje vyšších pevností a je výrazně levnější než borosilikátové sklo. Cihly byly odlévány ručně do forem při teplotě 1200 °C a po vychladnutí obroušeny a vyleštěny do požadované tolerance.



Obr. 5.19: Výztužná žebra fasády domu Crystal House v Amsterdamu, [39]

5.4.6 Experimentální klenbový nosník, [40], [41], [42]

Na univerzitě Delft University of Technology v Nizozemí v současnosti probíhá výzkum zaměřený na konstrukci klenbové konstrukce lávky z plných skleněných cihel. Výzkum je zaměřen především na smykové spojení jednotlivých cihel. Cihly jsou zděny na sucho – tedy bez malty či lepidla. Smykové spojení je zajištěno tvarem jednotlivých cihel. Pro snížení rizika porušení vlivem koncentrace lokálních napětí se mezi jednotlivé cihly vkládají podložky z pružného materiálu. Během tohoto výzkumu bylo použito několik materiálů, převážně z PVC a PU o různých tloušťkách (1 až 5 mm). Tvar cihel byl vytvořen litím do forem, řezáním vodním paprskem a následným broušením.

V rámci tohoto výzkumu byl proveden experiment na zmenšeném modelu klenbového nosníku (viz obr. 5.20). Jako pružná mezivrstva bylo použito PVC o tloušťce 4 mm. Jednotlivé cihly byly vyrobeny vyříznutím pomocí vodního paprsku z čtvercových cihel o rozměrech 210 x 210 x 65 mm. Celkové rozpětí zkoušeného nosníku bylo 1 m, do budoucna se plánuje vytvoření lávky pro pěší o celkovém rozponu 14 m, vzezpetí 0,7 m, tloušťce konstrukce 0,4 m a šířce 2,4 m.



Obr. 5.20: Experimentální klenbový nosník, [42]

5.4.7 Pavilon Qaammat v Grónsku, [43], [44]

Architektonický ateliér Konstatntin Arkitekter ve spolupráci s univerzitou v Delftu navrhl sochařskou skleněnou konstrukci o rozměrech přibližně 3,2 m v průměru a 2 m na výšku, obr. 5.21. Tato konstrukce má sloužit jako orientační bod na inuitském území Aasivissuit – Nipisat zapsaném na seznamu UNESCO. Toto území se nachází ve východní části Grónska a konstrukce je tedy vystavena velmi nepříznivým podmínkám, neboť v této oblasti za polárním kruhem dosahují nejnižší teploty vzduchu hodnot až -35 °C. Pavilon je navržen z plných skleněných cihel o rozměru 240 x 110 x 53 mm doplněných menšími cihlami o rozměru 116 x 121 x 53 mm. Tvar konstrukce je přibližně kónický komolý kužel.

Úkolem vědeckého týmu z delfské univerzity bylo určit vhodný materiál na spojování skleněných cihel k sobě. V rámci výzkumu byly provedeny smykové zkoušky pro různé druhy lepidel, viz obr. 5.22. Důležitým požadavkem byla klimatická odolnost a transparentnost spoje. Na konec byly použity dva druhy lepidel – Polyuretanové lepidlo 3M™ Scotch-Weld™ DP610 a dvousložkové silikonové lepidlo DOWSIL vyvinuté společností Dow Silicones Belgium speciálně pro tento projekt.



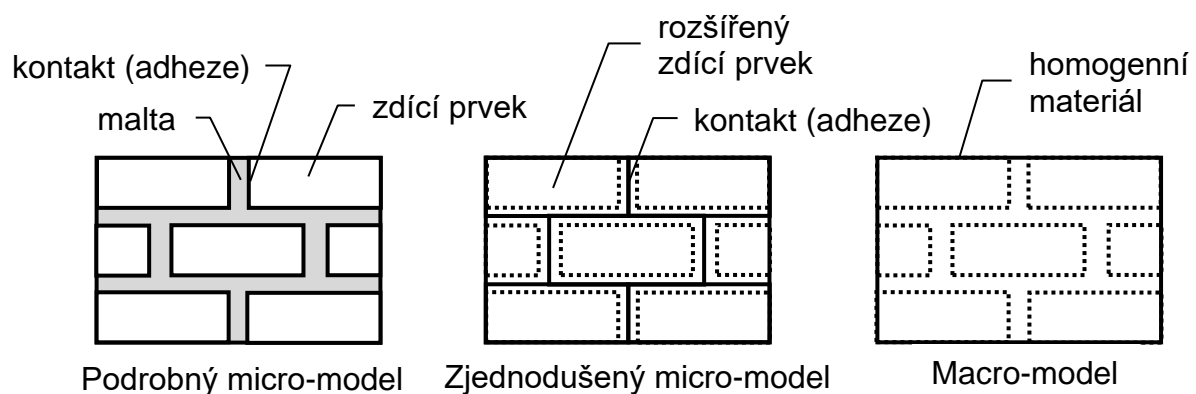
Obr. 5.21: Pavilon Qaammat v Grónsku, [44]



Obr. 5.22: Smykové zkoušky lepidel, [43]

5.5 Numerické modelování zdiva

Při modelování zdiva je třeba si předem stanovit podrobnost numerického modelu. Oproti skutečnosti představuje model určité zjednodušení a právě míru tohoto zjednodušení je třeba definovat, neboť čím podrobnější model je, tím jsou výsledky z něj získané přesnější, ale zároveň je hardwarová a časová náročnost vyšší. Před samotným modelováním je proto nutné zvážit poměr přesnosti výsledků a náročnosti výpočtu a zvolit správný model. Podle [45] se numerické modely dělí na micro- a macro-modely. Zatímco macro-model nahrazuje celé zdivo jako homogenní materiál, který má v případě zdiva nejčastěji ortotropní vlastnosti, micro-model obsahuje jednotlivé prvky zdiva vymodelované zvlášť. Micro-modely je možné rozdělit na dvě základní skupiny – podrobný a zjednodušený. V podrobném modelu jsou vytvořeny zvlášť zdící prvky, malta a kontakt mezi nimi, zatímco ve zjednodušeném micro-modelu se malta a kontaktní prvek sloučí a modelují se pouze dvě entity – zdící prvky a kontakt mezi nimi. Jednotlivé způsoby modelování zdiva jsou znázorněny na obr. 5.23.



Obr. 5.23: Způsoby modelování zdiva, [45]

Výhody a nevýhody jsou zřejmé, micro-model je určen spíše pro experimentální a vědecké účely, neboť je náročnější jak časově, tak i hardwarově. Tento model je tedy vhodný pro menší konstrukce případně pro konstrukční detaily, které by při špatném návrhu mohly ohrozit celou konstrukci. Pro výpočty rozsáhlejších konstrukcí v praxi jsou ale vhodnější macro-modely, u kterých je ale třeba počítat s nepřesnostmi a ty zohlednit pomocí bezpečnostních součinitelů.

Pro urychlení a usnadnění práce se v projekční praxi (např. u ocelových konstrukcí) používají parametrické modely, u kterých se mění vstupní parametry podle konkrétního řešeného případu. Vytvořit takový model pro zdivo by bylo extrémně náročné, neboť zděné konstrukce obsahují řadu proměnných faktorů, jako jsou například rozměry a materiál zdících prvků, tloušťka a materiál spár, geometrické uspořádání stěn, různé druhy vazeb a provázání stěn mezi sebou nebo způsoby podepření a zatížení konstrukce. V neposlední řadě je třeba uvažovat s různou kvalitou provádění zděných konstrukcí, z níž také vyplývá vhodnost použití macro-modelu pro stavební praxi. Vzhledem k tomu, že macro-model nerozlišuje jednotlivé zdící prvky, není potřeba na stavbě dodržovat přesně předepsanou vazbu zdiva, kterou by bylo často velmi těžké dodržet bez použití zdících prvků s nestandardními rozměry. Toto se týká zvláště rekonstrukcí a vestaveb do omezeného prostoru.

Jako zásadní předpoklad k vytvoření správného modelu je třeba zadat správné vstupní údaje. V případě strukturálních modelů zdiva se jedná především o materiálové

charakteristiky zdících prvků a malty: objemová hmotnost, pevnosti v tlaku, tahu a smyku, modul pružnosti, Poissonovo číslo nebo přídržnost malty ke zdícím prvkům. Dále se jedná o způsob porušení konstrukce, geometrické rozměry a vazbu konstrukčního prvku.

5.5.1 Způsoby porušení zdiva

Zdivo je obvykle tvořeno materiály, které nemají příliš vysokou pevnost v tahu, navíc průběžná vodorovná spára způsobuje, že tah je přenášen adhezí mezi povrchem zdících prvků a spojovacím materiálem (maltou). Z těchto důvodů se zděné konstrukce využívají především na prvky přenášející především tlak, tedy stěny a pilíře (sloupy). Je snaha vyhnout se taženým zděným konstrukcím, ale v případě namáhání takové konstrukce ohybem, například vlivem zatížení větrem, nebo vodorovných sil od krovu případně stropu, dochází k tlačení jednoho povrchu a vzniku tahu na povrchu druhém. Rozlišujeme tak v zásadě následující způsoby porušení zdiva:

1) Zdivo namáhané tlakem:

Vlivem tlaku může dojít k drčení zdících prvků, malty nebo ke vzniku příčných tahů, které mají za následek potrhání opět buď zdících prvků, nebo malty. V ideálním případě by měla být pevnost v tlaku malty a zdících prvků natolik stejná, že by došlo k porušení ve stejnou chvíli a zároveň by měla být pevnost v tahu natolik vysoká, aby nastalo dříve drčení než vznik příčných tahů.

Příčné tahy vznikají ve zdivu vlivem rozdílných tuhostí zdících prvků a malty. Obvykle je malta výrazně poddajnější – má menší modul pružnosti a tím pádem stejné zatížení vyvolá větší přetvoření. Vzhledem k tomu, že je malta shora i zdola sevřena zdíci prvky, deformuje se do stran. Pokud by spojení malty a zdících prvků, bylo ideálně kluzné, došlo by k deformaci malty (vytlačení z ložných spár), ovšem adheze způsobí, že deformující se malta působí na zdící prvky a v nich tak vznikají příčné tahy.

2) Zdivo namáhané převážně smykem:

Smyk namáhá především spoj mezi maltou a zdícím prvkem. Může dojít ke dvojímu způsobu porušení – adheznímu a koheznímu, případně k jejich kombinaci. Adhezním porušením se rozumí ztráta přilnavosti malty k cihle a její usmyknutí ve směru působící síly. Kohezním porušením se potom rozumí vznik trhliny v materiálu, tj. buď roztržení malty, nebo zdícího prvku.

3) Zdivo namáhané tahem:

Stejně jako ve smyku dochází k adheznímu nebo koheznímu porušení, kdy je spára namáhána kolmo ke své rovině.

6 NOSNÉ ZDIVO Z PLNÝCH SKLENĚNÝCH CIHEL

6.1 Cíle disertační práce

Hlavními cíli předložené disertační práce bylo zaprvé určení vhodného materiálu ke spojování plných skleněných cihel a zadruhé vytvoření analytického modelu pro návrh zděného tlačného pilíře na základě provedených experimentů a výsledků parametrické studie. Analytický model byl doplněn o doporučení pro praxi při navrhování těchto konstrukcí.

Disertační práce je zaměřena především na praktické použití. Na rozdíl od příkladů zmiňovaných v kap. 5.4 bylo rozhodnuto, že zdění takového zdiva má být technologicky nenáročné a měla by ho zvládnout i nepříliš kvalifikovaná pracovní síla. Bylo proto rozhodnuto upozadit lepidla na bázi epoxidu, polyuretanu nebo silikonu ve prospěch materiálů na cementové bázi, tedy malt a lepidel na obklady, které jsou v současnosti běžně používané a nevyžadují složité technologické postupy.

6.2 Metody použité k dosažení cílů

K dosažení cílů disertační práce byly použity metody jak praktické (experimenty), tak teoretické (numerický model).

Nejdříve bylo nezbytné určit vhodnou kombinaci spojovacího materiálu, úpravy povrchu cihel a tloušťky spár, k tomu posloužily v první etapě experimenty zaměřené na únosnost zdiva ve smyku a zkoušky adheze. Vybíralo se celkem z osmi malt a dvou úprav povrchu. Kromě toho se pro porovnání zkoušela epoxidová pryskyřice a polyuretanové lepidlo.

Pro vytvoření numerického modelu bylo nutné určit materiálové charakteristiky použitých materiálů, konkrétně za pomoci zkoušek skleněných cihel při tříbodovém ohybu pro určení modulu pružnosti a pevnosti skla v tahu za ohybu a zkoušek vybraných malt v tahu za ohybu a v tlaku sloužících k určení modulu pružnosti, pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu.

V další etapě byly provedeny zkoušky na malých a velkých tělesech zděných pilířů z plných skleněných cihel. Konkrétně se jednalo o zkoušky v tlaku provedené na třech malých tělesech vysokých přibližně 0,5 m, z nichž jedno těleso bylo tvořeno deseti cihlami vyzděnými na sobě, další dvě tělesa byla vyzděna v šířce přibližně 0,5 m. Dále byly provedeny dva experimenty na pilířích velkých rozměrů, jednalo se o pilíře čtvercového průřezu rozměru 240 x 240 mm a výšky přibližně 3 m.

V závěrečné etapě byla data získaná z experimentů použita na validaci numerického modelu, na kterém byla následně provedena parametrická studie pro různé průřezy a různé výšky pilířů. Na základě výsledků, které byly získány vyhodnocením experimentů a parametrické studie, byl připraven analytický model pro návrh dostředně tlačných pilířů zděných z plných skleněných cihel včetně doporučení pro praxi.

6.3 Dílčí etapy řešení disertační práce

Výzkum a celý projekt disertační práce byl strukturován do následujících dílčích etap:

1. Smykové zkoušky a zkoušky adheze malty ke sklu
2. Výběr vhodné kombinace spojovacího materiálu (malty) a úpravy povrchu (pískovaný/nepískovaný) na základě zkoušek zdiva ve smyku a zkoušek adheze

3. Materiálové zkoušky malt a skleněných cihel
4. Zkoušky malých zděných těles v tlaku
5. Zkouška centricky zatíženého velkého pilíře zahrnující zkoušky nárazem měkkým a tvrdým tělesem
6. Zkouška excentricky zatíženého pilíře
7. Validace numerického modelu a parametrická studie
8. Porovnání výsledků parametrické studie s návrhovým analytickým modelem a stanovení doporučení pro navrhování v praxi

6.4 Experimentální výzkum

V rámci předkládané disertační práce byl proveden experimentální výzkum zaměřený na tlačené pilíře zděné z plných skleněných cihel. Cílem experimentů bylo v první fázi vybrat vhodnou kombinaci spojovacího materiálu (matly) a úpravy povrchu (hladký/zdrsněný). V další fázi byly provedeny experimenty na větších tělesech, které posloužili k validaci numerického modelu a parametrické studie. Veškeré experimenty v rámci obou etap byly provedeny v laboratořích Experimentálního centra FSv. Výrobu jednotlivých zkušebních těles měl na starosti autor této práce za asistence školitelky a dr. Sokola. Osazení měřičů a zatěžování prováděli pracovníci Experimentálního centra. Materiál potřebný pro experimenty dodala firma Vitrablok s.r.o.

7 PRVNÍ ETAPA EXPERIMENTŮ

V první experimentální etapě bylo nutné zjistit chování skleněného zdiva při použití různých spojovacích prostředků a úpravy povrchu cihel. K tomu sloužily smykové zkoušky a zkoušky adheze malty. Dále byly v této etapě provedeny materiálové zkoušky vybraných malt a skleněných cihel za účel získání dat potřebných pro tvorbu numerického modelu.

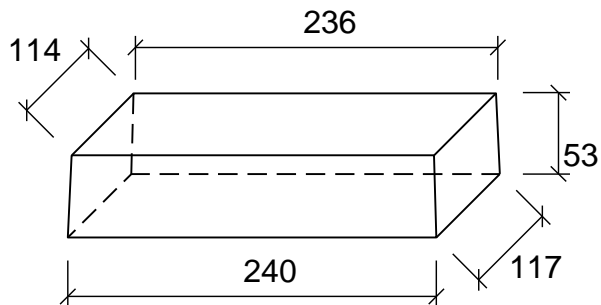
7.1 Smykové zkoušky spojovacích malt

Jednou z rozhodujících vlastností zdiva je jeho smyková pevnost, která závisí v případě zdiva z plných skleněných cihel především na adhezi, tedy na přilnavosti použité malty (nebo jiného materiálu) ke skleněným cihlám. První sada experimentů tedy byla zaměřena na určení vlivu použitého spojovacího materiálu (malty nebo polymeru), úpravy povrchu cihel a tloušťky spáry na pevnost zdiva ze skleněných cihel ve smyku.

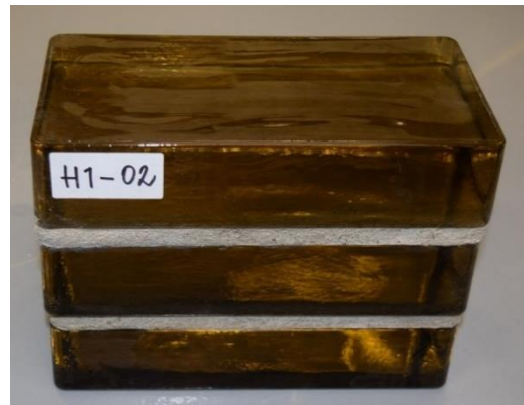
7.1.1 Zkušební tělesa a jejich výroba

Zkušební tělesa byla vyrobena ze skleněných cihel, které jsou tvaru komolého jehlanu s obdélníkovými základnami. Rozměry jsou patrné z obr. 7.1. Každé těleso bylo sestaveno ze tří skleněných cihel vzájemně spojených maltou, viz obr. 7.2. Celkem bylo zkoušeno 10 druhů spojovacích materiálů, dva druhy úpravy cihel a několik tloušťek spár. V úvodu testování se pro dodržení tloušťky používaly dřevěné distanční latě, později byly používány plastové distanční křížky, které zajistili tloušťku s větší přesností, obr. 7.3. S ohledem na použitelnost v praxi se zkoušené tloušťky pohybovaly v rozmezí od 1 mm do 16 mm. Jako spojovací materiály byly použity různé druhy malt od běžných malt pro zdění kamenného zdiva až po speciální malty s přísadami na bázi latexu, které jsou určeny pro spojování skleněných konstrukcí. Kromě malt byly použity rovněž dva druhy lepidla na dlažbu, jeden druh epoxidové pryskyřice a dvousložkové polyuretanové lepidlo. Zkoušky byly provedeny pro hladký povrch bez jakékoli úpravy a pro povrch

zdrsněný velmi jemným pískováním. Mezi výrobou a provedením experimentů byla technologická přestávka 28 dní, aby bylo dosaženo dostatečné pevnosti. Po celou dobu skladování byla sledována teplota okolního prostředí.



Obr. 7.1: Rozměry skleněných cihel



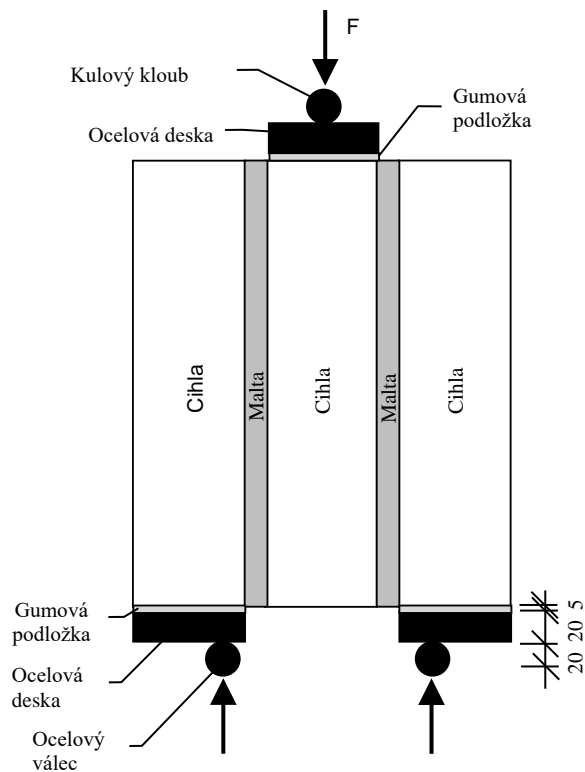
Obr. 7.2: Hotové zkušební těleso



Obr. 7.3: Plastové distanční křížky

7.1.2 Uspořádání experimentu

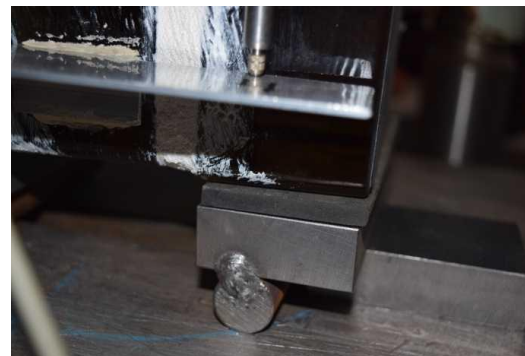
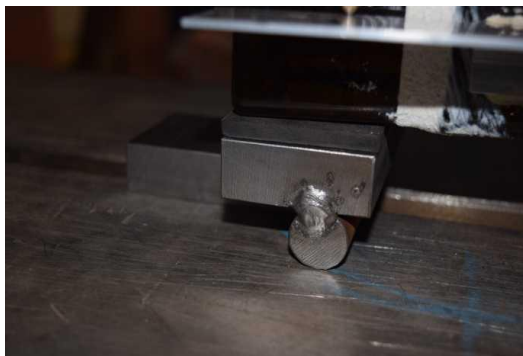
Zkušební tělesa vyrobená ze tří plných skleněných cihel byla zkoušena ve zkušebním zařízení MTS Elite Q100. Jednalo se o protlačovací zkoušku, kdy dvě krajní cihly byly uloženy na ocelových deskách a střední cihla byla namáhána tlakem tak, aby spáry mezi cihlami byly namáhány smykem, viz obr. 7.4 a obr. 7.5. Tlaková síla působila na zkušební těleso prostřednictvím kulového kloubu umístěného uprostřed horní ocelové tlačné desky. Krajní cihly byly uloženy přes ocelové desky na válcové podpory o průměru 20 mm. Mezi ocelové desky a skleněné cihly byly vloženy pryžové podložky tloušťky 5 mm, aby bylo zabráněno přímému kontaktu mezi sklem a deskou, který by mohl vést k lokálnímu namáhání skleněné cihly a tím k jejímu porušení, viz obr. 7.6. Ve vybraných případech byla navíc tělesa osazena potenciometry k měření vzájemného posunu obou namáhaných spár mezi cihlami. Ve všech případech byla naměřená nulová deformace. Z tohoto důvodu nebyla deformace u ostatních těles měřena. Zkouška byla řízena posunem rychlostí 0,5 mm/min. Přehled všech provedených zkoušek včetně počtu zkušebních těles pro jednotlivé druhy Spojovacího materiálu, tloušťky spáry, úpravy povrchu a dosažené maximální síly při porušení je uveden v tab. 15.1.



Obr. 7.4: Schéma experimentu, [47]



Obr. 7.5: Těleso ve zkušebním stroji

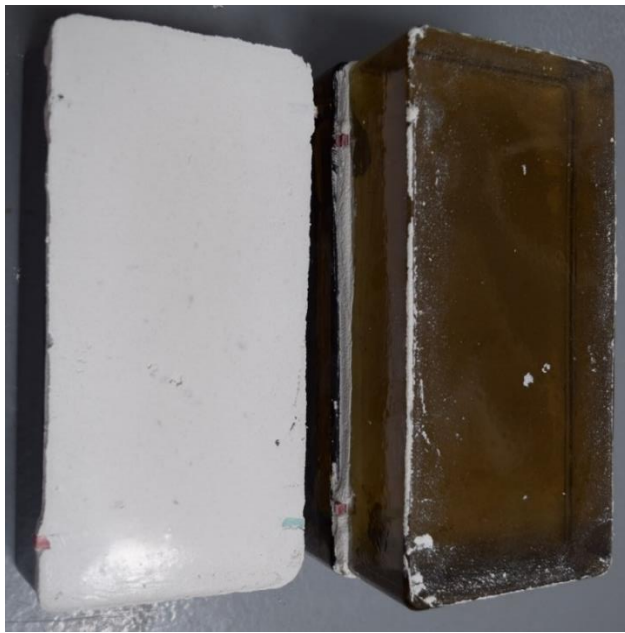


Obr. 7.6: Podepření krajních cihel přes pružné podložky

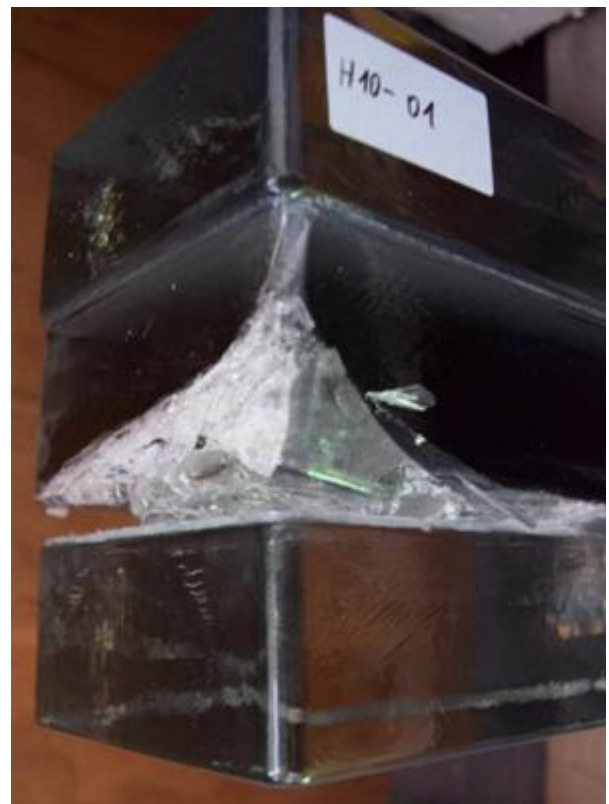
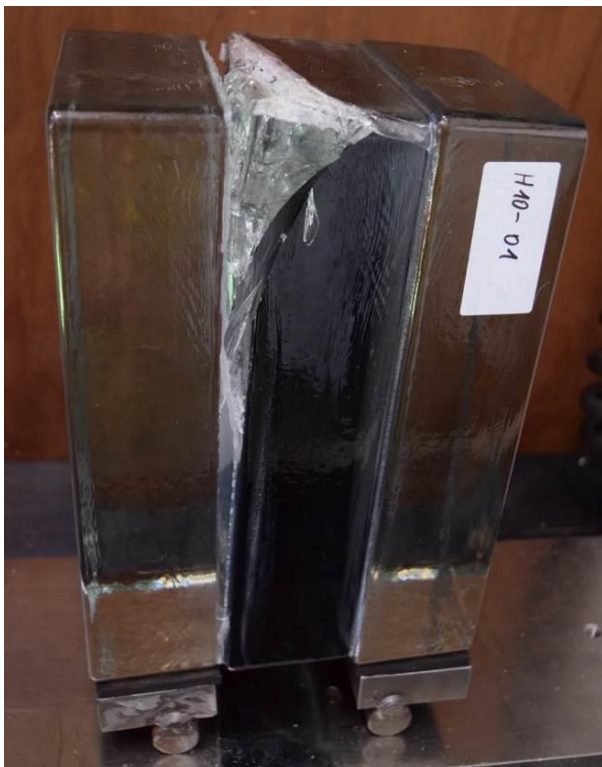
7.1.3 Vyhodnocení experimentu

Vyhodnocení experimentů lze rozdělit do tří skupin podle vlivu úpravy povrchu, podle použitého spojovacího materiálu a podle tloušťky spár.

Většina zkoušených těles vykazovala adhezní porušení (ztráta přilnavosti spojovacího materiálu k povrchu). U části vzorků však bylo zjištěno kombinované adhezně–kohezní porušení. Zkušební tělesa s typickým adhezním a kombinovaným porušením jsou na obr. 7.7. Kohezní porušení malty nastalo v převážné většině v místě oslabení distančními křížky. K čistě koheznímu porušení či porušení samotných skleněných cihel nedošlo ani při jedné zkoušce. V případě polyuretanového lepidla došlo ke kombinovanému porušení, při němž se lepidlo částečně odtrhlo a zároveň došlo ke koheznímu porušení skla (viz obr. 7.8). K porušení došlo vždy náhle bez předchozího varování.



Obr. 7.7: Zkušební tělesa, u nichž došlo k typickému adheznímu porušení (vlevo) a kombinovanému porušení (vpravo)



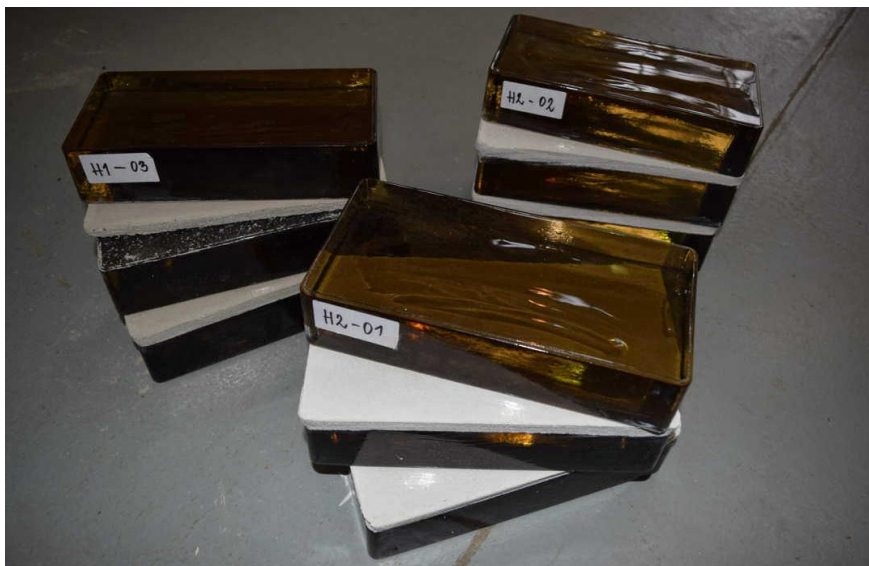
Obr. 7.8: Zkušební těleso, u něhož došlo k prasknutí skla

7.1.4 Vliv povrchové úpravy cihel

Během experimentu byl zkoumán vliv pískování na přilnavost (adhezi) lepidla k povrchu skleněné cihly. Proto byla zkoušena tělesa tvořená hladkými cihlami bez jakékoli úpravy a tělesa s povrchem, který byl v ložné spáře upraven velmi jemným pískováním, souhrn testovaných variant je patrný z tab. 15.1. Srovnání pískovaného a nepískovaného povrchu je ukázáno na obr. 7.9. Vliv pískování na smykovou pevnost byl velmi výrazný. Řadu těles vyrobených z hladkých cihel nebylo možné ani vyzkoušet, neboť došlo k jejich rozlepení již při manipulaci (viz obr. 7.10). Z tohoto hlediska se jako vhodnější jeví jednoznačně použití pískovaných cihel. Na druhou stranu zdivo tvořené cihlami s pískovanou ložnou spárou má nežádoucí estetický efekt při pohledu z boku, takže bylo rozhodnuto o použití hladkých cihel a hledání vhodného spojovacího materiálu a tloušťky spáry tak, aby spojovací materiál (malta, lepidlo) vykazoval dostatečnou adhezi i v případě hladkého povrchu skleněných cihel.



Obr. 7.9: Porovnání cihly bez úpravy (vlevo) a pískované cihly (vpravo)



Obr. 7.10: Tělesa rozpadlá před zkouškou

7.1.5 Vliv spojovacího materiálu

Materiál použitý na spojování cihel lze rozdělit na tři základní druhy – malty, lepidla na dlažbu a speciální lepidla (epoxidová pryskyřice a polyuretanové lepidlo). První dva druhy jsou si velmi podobné, oba jsou založeny na cementové bázi a liší se v zásadě pouze tloušťkou, v závislosti na účelu použití. Zatímco klasické malty jsou určeny pro zdění, kdy se předpokládá, že tloušťka malty se pohybuje okolo jednoho centimetru, lepidla na dlažbu jsou určeny pro přichycení obkladů nebo dlažby k podkladu, kde se optimální tloušťka lepidla pohybuje v řádech jednotek milimetrů v závislosti na použitém druhu. Trochu stranou stojí epoxidová pryskyřice a polyuretanové lepidlo, které se běžně na spojování cihel nepoužívají. Je to především z toho důvodu, že jsou v porovnání s klasickými maltami i cementovými lepidly podstatně dražší a i práce s nimi na stavbě by byla náročnější. Veškeré spojovací materiály, které byly použity při experimentech, jsou shrnuty v tab. 7.1.

Výsledky zkoušek z těles vyrobených z klasických malt se od sebe při stejné tloušťce spár a stejné úpravě povrchu nijak výrazně nelišily, stejně tak lepidla na dlažbu se chovala podobně jako klasické malty. Malty se speciálními přísadami pro lepší přilnutí ke sklu dosahovaly výrazně vyšších pevností. Tělesa z epoxidové pryskyřice byla zkoušena pouze s malou tloušťkou spár a naměřené hodnoty byly přibližně stejné s lepidlem na dlažbu. Chování pryskyřice při větší tloušťce lze jen těžko odhadovat, ale je zřejmé, že pevnost ve smyku bude s narůstající tloušťkou klesat, takže pro běžné tloušťky spár pro zděné konstrukce (okolo 1 cm) by byla pevnost podstatně nižší. V případě polyuretanového lepidla bylo zkoušeno pouze jedno těleso, takže nelze vyvozovat přesnější závěry.

Na základě naměřených dat bylo rozhodnuto o zaměření dalšího výzkumu na lepidla na dlažbu a malty se speciálními přísadami, aby bylo možné používat hladké cihly a dodržet běžnou tloušťku spár klasického zdiva.

Při práci se zvolenými materiály byl zjištěn významný vliv poměru suché směsi, vody a případně latexové příměsi (Planicrete) na dobu zpracovatelnosti směsi a tím pádem i na kvalitu spoje – čím sušší je směs, tím horší je přilnavost k povrchu. Při používání latexové příměsi se jako nejvhodnější ukázal poměr 1,92 kg suché směsi : 0,2 l vody : 0,2 l Planicretu. Při tomto poměru nebyla směs po smíchání příliš tekutá a zároveň byla použitelná ještě přibližně hodinu po smíchání. Tento poměr byl používán při následujících experimentech (zkoušky těles v tlaku, zkoušky pilířů). Poměr tekuté a suché složky neměl výraznější vliv na mechanické vlastnosti zatvrdlé malty. Poměr vody a Planicretu měl vliv pouze na přilnavost ke skleněným cihlám, na mechanických vlastnostech zatvrdlé malty se neprojevil.

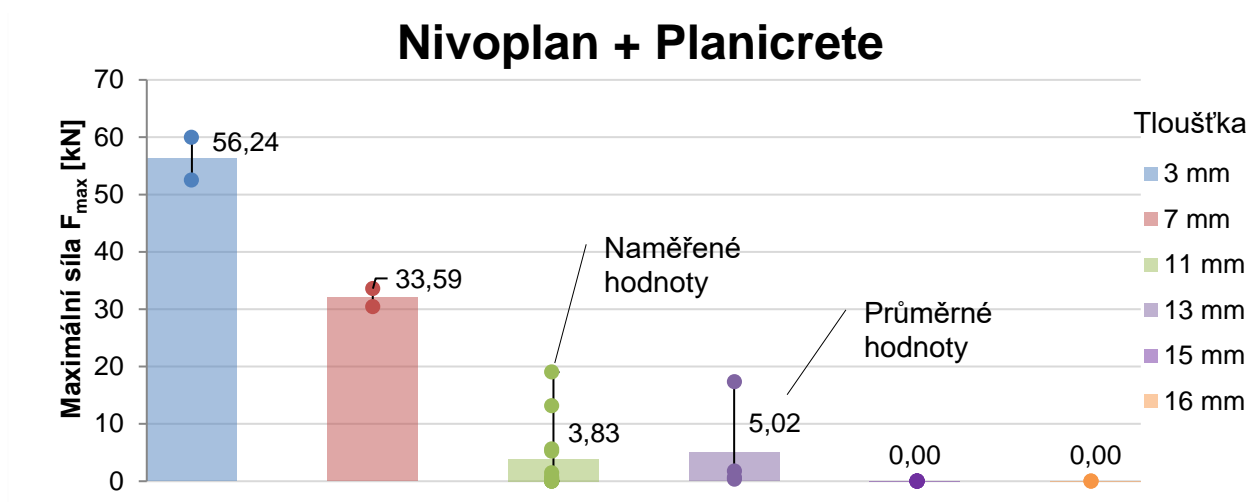
7.1.6 Vliv tloušťky spár

Pro polymerní lepidla je tloušťka spáry zásadním parametrem ovlivňujícím pevnost spoje. Tento jev se projevil i v případě lepidel na dlažbu a malt se speciálními přísadami, které jsou právě na bázi polymerů, viz tab. 15.1.

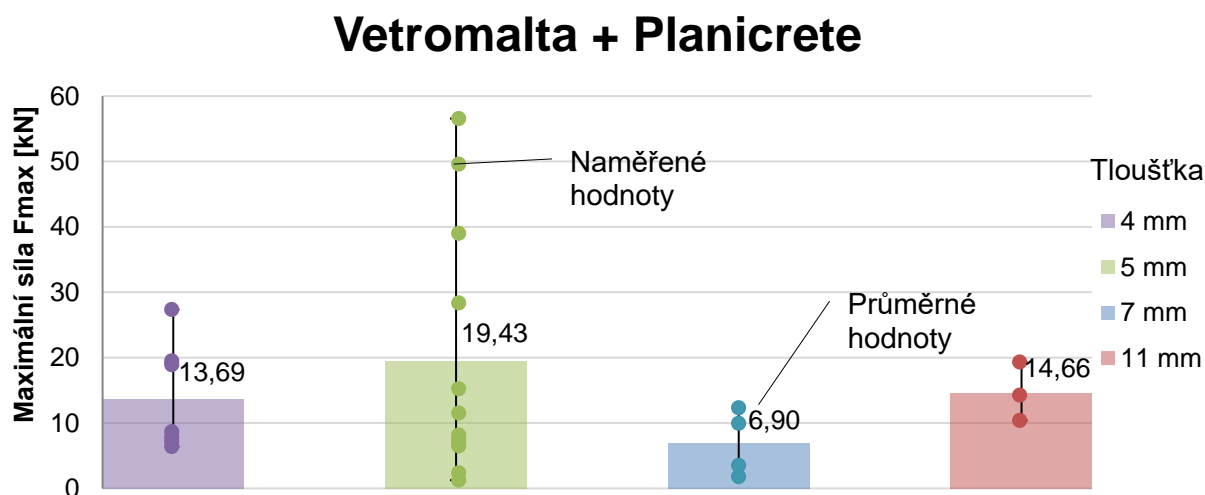
Závislost pevnosti na tloušťce je výrazná (viz grafy na obr. 7.11, obr. 7.12 a obr. 7.13), například pro lepidlo na dlažbu byla pevnost při poloviční tloušťce přibližně desetkrát vyšší a při desetkrát menší tloušťce dokonce padesátkrát vyšší. Podobný efekt, i když ne tak výrazný, se projevoval i v případě malt s přísadami. Epoxidová pryskyřice byla zkoušena pouze v jedné tloušťce, ale lze předpokládat, že by pokles pevnosti společně s tloušťkou nastal i v tomto případě. Ze zkoušky jednoho tělesa slepeného polyuretanovým lepidlem nelze vyvozovat jakékoli závěry.

Tab. 7.1: Souhrn použitých spojovacích materiálů

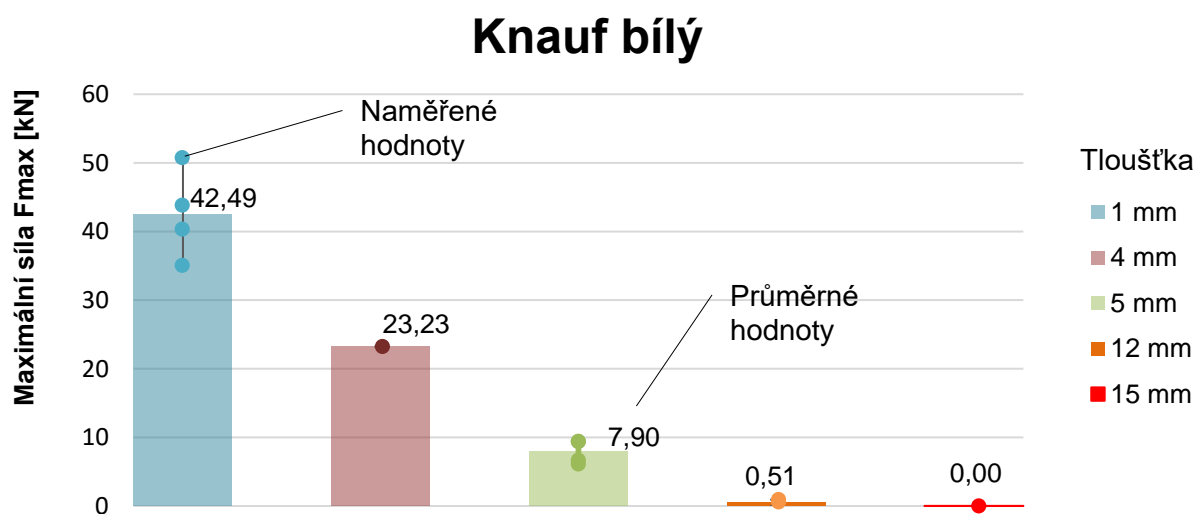
Materiál	Název	Popis	Výrobce
Malta 1	Trass-Natustein Mörtel	Malta z trasového cementu určená pro sanaci a pokládání přírodního kamene	Bostik GmbH
Malta 2	Vetromalta	Finální malta speciálně vyvinutá na zdění a spárování skleněných tvárnic	SEKRET CZ k.s.
Malta 3	Fixoglass	Malta speciálně vyvinutá pro zdivo ze skleněných cihel	POESIA® Div. di Vetreria Resanese S.p.A.
Malta 4	Nivoplan + Planicrete	Cementová vyrovnávací malta pro vnitřní i venkovní svislé plochy + syntetický latex pro zlepšení přídržnosti cementových směsí	MAPEI, spol. s r.o.
Malta 5	Keraquick + Latex Plus	Deformovatelné rychle tvrdnoucí cementové lepidlo se sníženým skluzem, na obklady a dlažby z keramiky a přírodního kamene + disperze extrémně pružného polymeru s nízkou viskozitou	MAPEI, spol. s r.o.
Lepidlo na dlažbu 1	Bílé flexibilní elastické lepidlo	Suché flexibilní mrazuvzdorné cementové lepidlo bílé barvy pro lepení skleněných obkladů, dlažby, ozdobných prvků, sklokeramiky, skleněných tvárnic, desek z přírodního a umělého kamene, mramoru	KNAUF Praha, s.r.o.
Lepidlo na dlažbu 2	Flexibilní elastické lepidlo	Suché flexibilní mrazuvzdorné cementové lepidlo vhodné pro vnitřní i vnější použití	KNAUF Praha, s.r.o.
Epoxidová pryskyřice	Epoxidová pryskyřice	Epoxidová pryskyřice	Spolchemie a.s.
Malta 6	Vetromalta + Planicrete	Finální malta speciálně vyvinutá na zdění a spárování skleněných tvárnic + syntetický latex pro zlepšení přídržnosti cementových směsí	SEKRET CZ k.s. MAPEI, spol. s r.o.
Polyuretanové lepidlo	Araldite® 2018	Dvousložkové polyuretanové houževnaté lepidlo určené pro lepení termoplastů s možností vytvrzování za pokojové teploty	Huntsman International LLC.



Obr. 7.11: Porovnání vlivu tloušťky spár pro Maltu 4



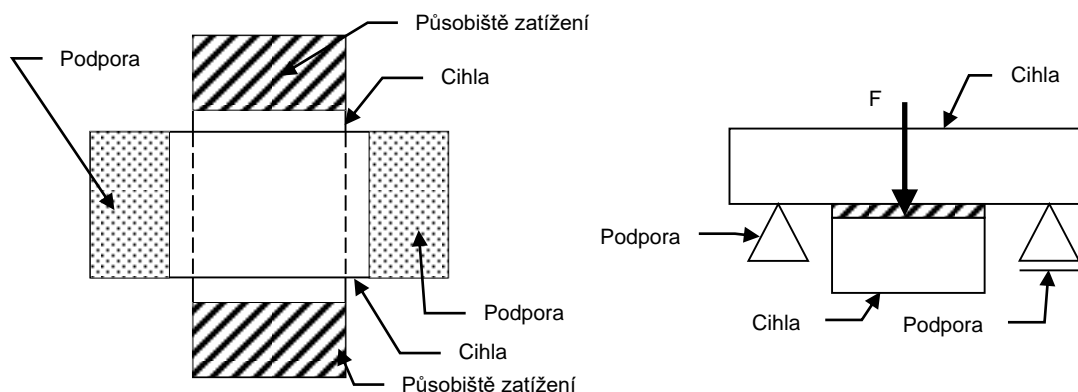
Obr. 7.12: Porovnání vlivu tloušťky spár pro Maltu 6



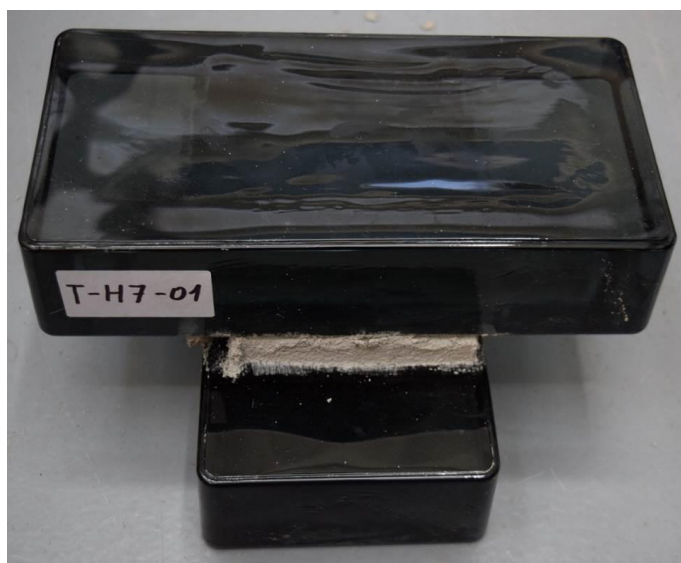
Obr. 7.13: Porovnání vlivu tloušťky spár pro Lepidlo na dlažbu 1

7.2 Zkoušky adheze malt

Vzhledem k adheznímu porušení je zjevné, že v případě zdiva ze skleněných cihel je rozhodující přilnavost malty ke sklu. K určení adheze malty ke skleněným cihlám byly použity zkoušky malých těles v tahu. Při smykových zkouškách byl zjištěn významný vliv tloušťky spár na pevnost spoje ve smyku, proto byly zkoušky adheze malt provedeny pro vybrané tloušťky 3, 4, 6 a 10 mm.



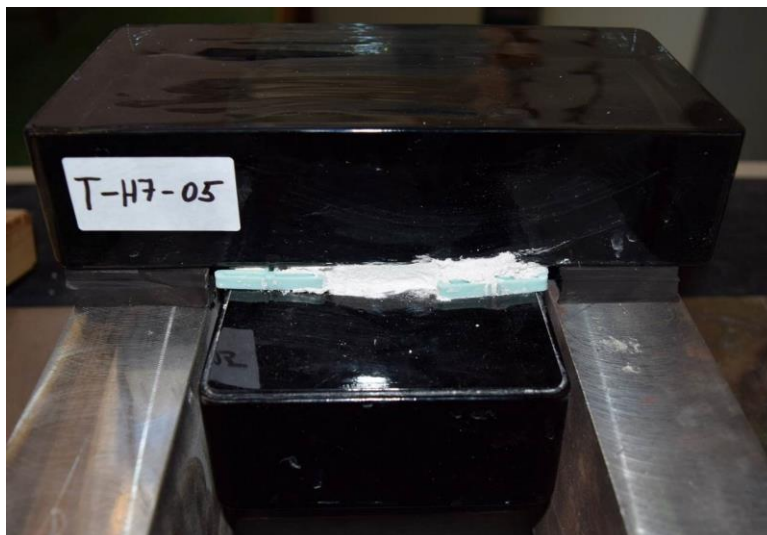
Obr. 7.14: Uspořádání zkušebního tělesa pro zkoušky adheze



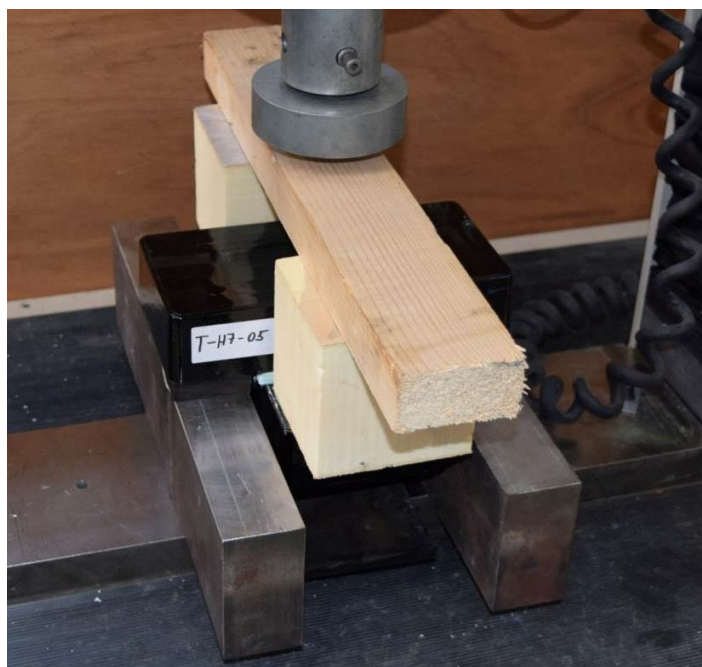
Obr. 7.15: Zkušební těleso pro zkoušku adheze malty ke sklu

7.2.1 Uspořádání experimentu

Schéma zkoušky je na obr. 7.14. Tělesa tvořená dvěma slepenými cihlami (viz obr. 7.15) byla umístěna do stroje tak, že horní cihla byla na krajích uložena přes gumové podložky (viz obr. 7.16) na ocelové podpory a do spodní cihly se přes nosník rovnoměrně roznášela působící tlaková síla. Tímto způsobem byla spára namáhána tahem. Oproti naměřené síle ale na spáru působí navíc síla od vlastní tíhy spodní cihly a malty, která byla při vyhodnocení zanedbána. Na obr. 7.17 je vyobrazeno těleso osazené ve stroji a připravené ke zkoušce. Zkoušky byla stejně jako v případě smykových zkoušek řízena posunem rychlostí 0,5 mm/min. Ke zkouškám bylo využito zkušební zařízení MTS Elite Q100.



Obr. 7.16: Uložení tělesa na gumové podložky

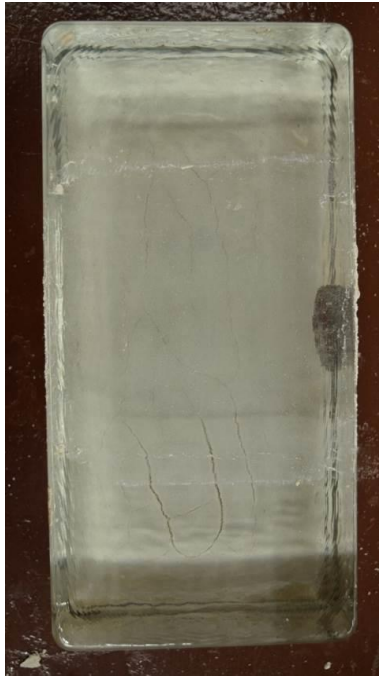


Obr. 7.17: Uložení tělesa ve zkušebním zařízení

7.2.2 Vyhodnocení experimentu

Výsledky zkoušek jsou uvedeny v tab. 15.2, kde jsou uvedeny počty zkušebních těles pro zkoušené druhy spojovacího materiálu, tloušťka spáry, maximální síla a napětí při porušení. U většiny těles došlo, stejně jako v případě smykových zkoušek, k adheznímu porušení (obr. 7.18), pouze u dvou těles došlo zároveň k porušení malty (obr. 7.19). Všechna zkušební tělesa vyrobená ze spojovacího materiálu využívajícího matu Nivoplan s přísadou Planicrete, s výjimkou jediného, nemohla být vyzkoušena, protože se rozpadla již při běžné manipulaci. K rozpadnutí těles během manipulace došlo také v případě pěti těles maltou Vetromalta a přísadou Planicrete. Zbývající tělesa byla vyzkoušena. K porušení došlo vždy náhle bez předchozího varování.

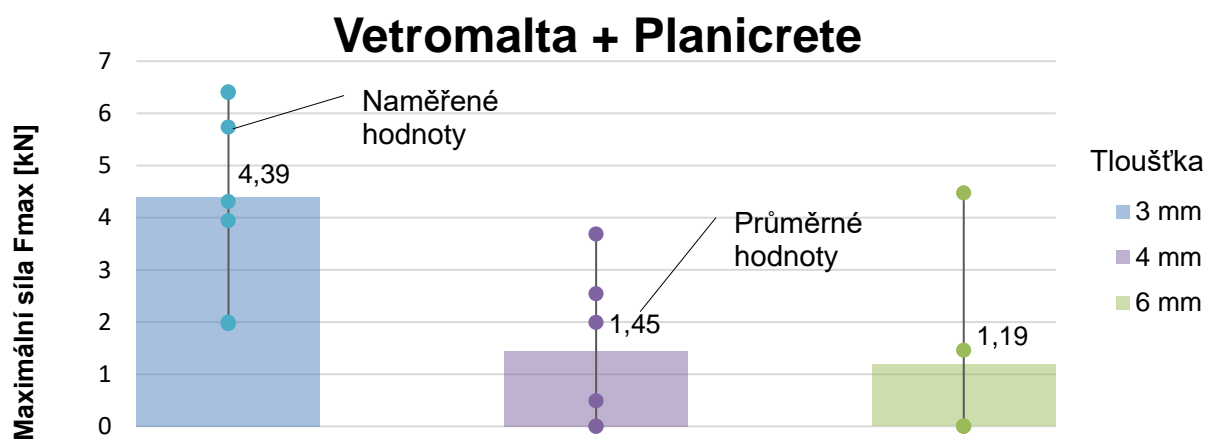
Stejně jako v případě smykových zkoušek se i zde výrazně projevil vliv tloušťky spár (viz grafy na obr. 7.20 a obr. 7.21).



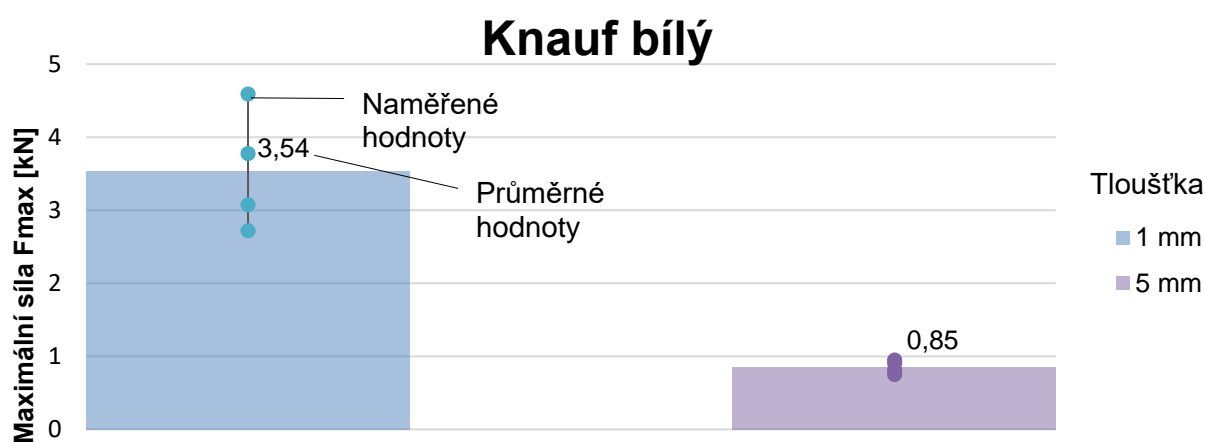
Obr. 7.18: Typické adhezí porušení



Obr. 7.19: Kombinované kohezně-adhezí porušení



Obr. 7.20: Porovnání vlivu tloušťky spár pro Maltu 6



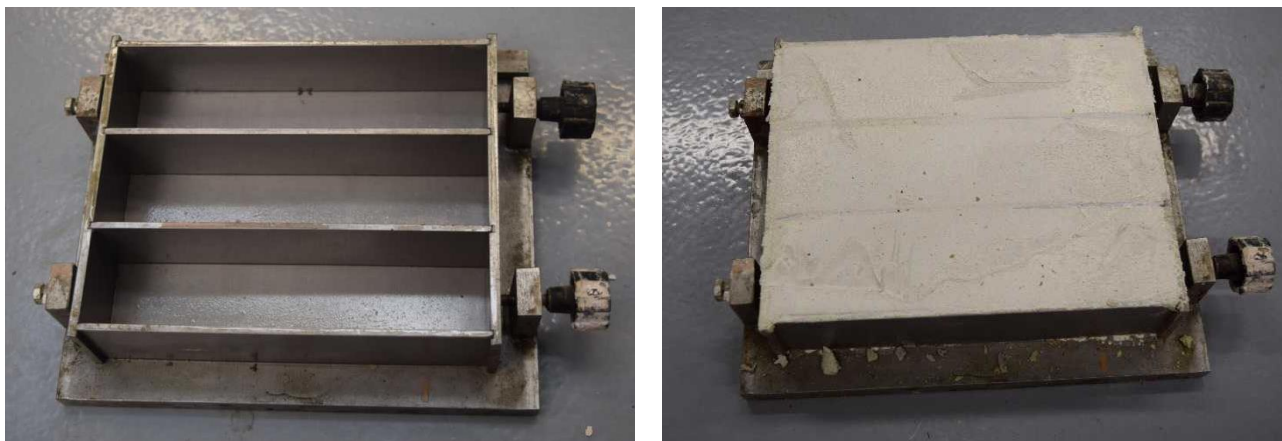
Obr. 7.21: Porovnání vlivu tloušťky spár pro Lepidlo na dlažbu 1

7.3 Zkoušky spojovacích materiálů v tahu za ohybu a v tlaku

Stanovením pevnosti malty v tahu za ohybu a v tlaku se zabývá norma ČSN EN 1015-11, [48]. Stanovením modulu pružnosti malty se věnuje norma ČSN EN 13412 [49].

7.3.1 Zkušební tělesa a jejich výroba

Na smykové zkoušky navázaly zkoušky v tahu za ohybu a v tlaku na trámečcích z malt použitých v předcházejících experimentech. Zkušební tělesa byla vyrobena ze všech druhů použitých malt kromě epoxidové pryskyřice. Napěchováním malty do speciální formy vznikly vždy tři zkušební trámečky pro zkoušku v tahu za ohybu pro každý materiál, viz obr. 7.22. Forma je uzpůsobena tak, aby s její pomocí šlo vyrobit normová zkušební tělesa o rozměrech 40 x 40 x 160 mm. Před vlastní zkouškou byla přeměřena výška a šířka trámečků a z naměřených hodnot byl dopočten průřezový modul a plocha průřezu. Trámečky byly nejprve využity pro zkoušku v tahu za ohybu a po jejich přelomení byly zbylé části přeznačeny a použity na zkoušku v tlaku, [48].

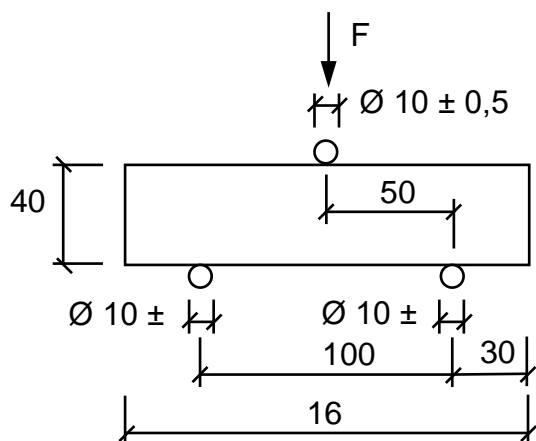


Obr. 7.22: Trojforma na trámečky pro zkoušení malt

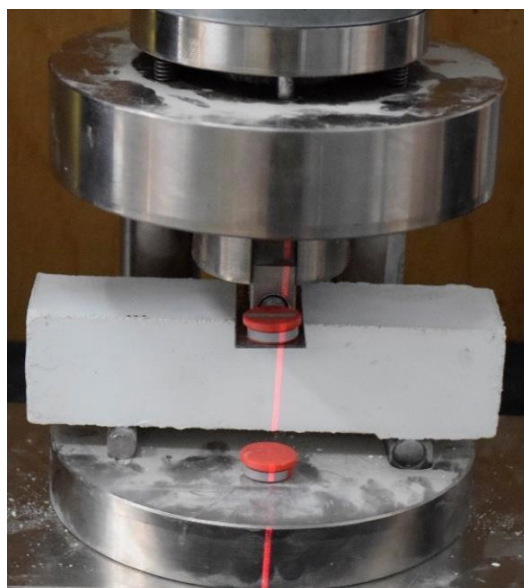
7.3.2 Uspořádání experimentu

Na zkušebním zařízení MTS Elite Q100 byly nejprve provedeny zkoušky malt v tahu za ohybu. Po porušení byly dle normového postupu v [48] obě části zkušebního tělesa dále zatíženy tlakem. Na každém zkušebním tělese se vyhodnocovala pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku. Pro tyto účely byly vyrobeny pro každý druh spojovacího materiálu tři trámečky. Zkoušku bylo možné provést po dostatečném vytvrdnutí malty tj. min. 28 dní po výrobě trámečků. Zkouška je uspořádána jako tříbodový ohyb, kde zatěžovací síla působí v polovině trámečku a podpory jsou 30 mm od krajů, viz obr. 7.23. Předepsané vzdálenosti podpor a působící síly byly zajištěny pomocí speciálního přípravku, do kterého se zkoušený vzorek osadil, jak je patrné na obr. 7.24. Zkouška byla řízena silou s rychlostí zatěžování 100 N/s.

Trámečky po této zkoušce byly v souladu s normou [48] dále využity na určení pevnosti v tlaku. Jedná se o zkoušku v prostém tlaku, přípravek na zkoušení trámečků v tlaku je na obr. 7.25. Zkouška byla řízena silou s rychlostí zatěžování 100 N/s. K měření svislých deformací bylo použito laserového extenzometru.



Obr. 7.23: Uspořádání zkoušky v tahu za ohybu, [48]

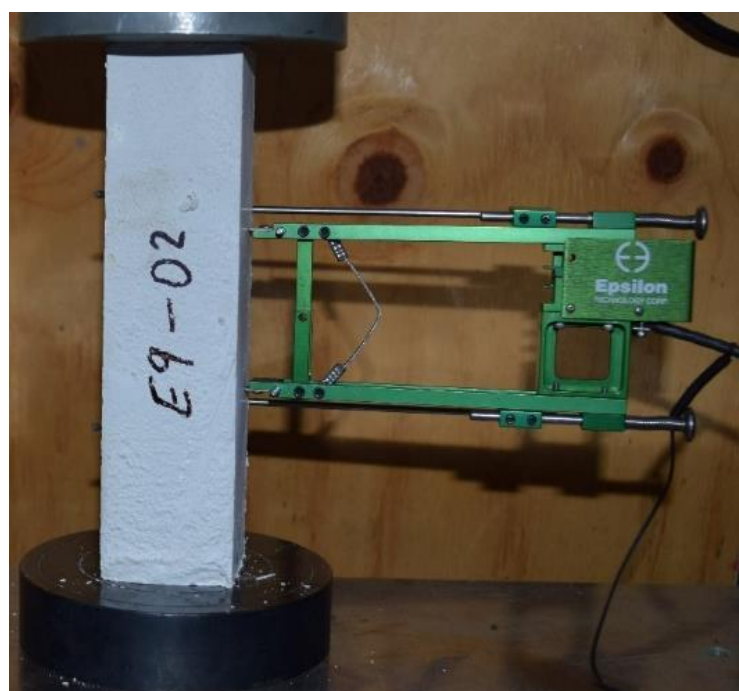


Obr. 7.24: Přípravek na zkoušku trámečků v tahu za ohybu



Obr. 7.25: Přípravek na zkoušku v tlaku s osazeným trámečkem

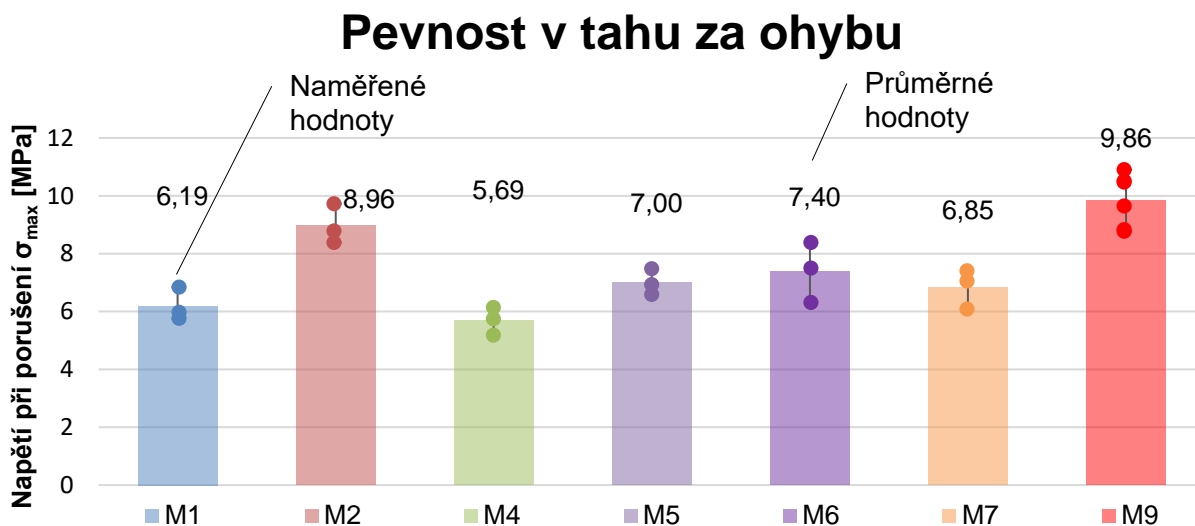
Pro stanovení modulu pružnosti malt byly provedeny zkoušky v tlaku, při kterých byly použity trámečky stejných rozměrů jako v případě zkoušky tříbodovým ohybem (tj. 40 x 40 x 160 mm). Trámeček byl ve zkušební stroji umístěn svisle a byl zatěžován rychlostí 0,5 mm/min. Na obr. 7.26 je zkoušený trámeček, ke kterému je připevněn axiální extenzometr, osazený ve zkušebním zařízení. Tato zkouška byla provedena pouze pro směs Vetromalty a Planicretu (Malta 9), protože na základě výsledků všech předchozích experimentů a jejich vyhodnocení bylo rozhodnuto, že pro následující zkoušky zdiva a zděného pilíře bude použita tato směs, viz kap. 7.6.



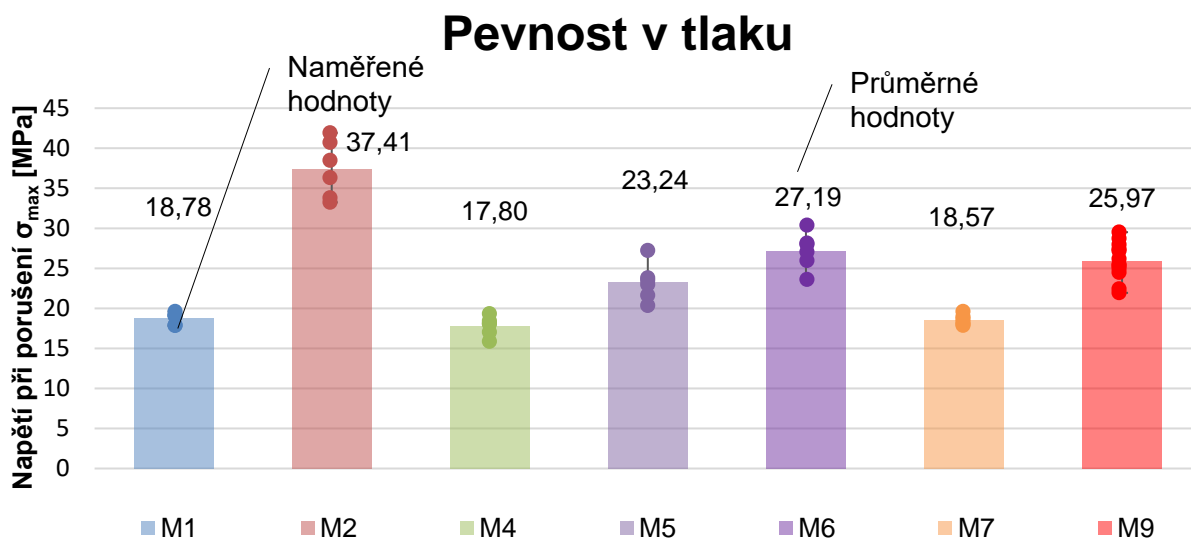
Obr. 7.26: Uspořádání zkoušky pro stanovení modulu pružnosti

7.3.3 Vyhodnocení experimentů

Přehled výsledků materiálových zkoušek je na obr. 7.27 a obr. 7.28. Podrobné výsledky zkoušek trámečků z malt a lepidel jsou uvedeny v tab. 15.3 pro zkoušku v tahu za ohybu, v tab. 15.4 pro zkoušku v tlaku a v tab. 7.2 pro zkoušku na určení modulu pružnosti. Značení malt v grafech odpovídá popisu jednotlivých zkoušených materiálů, které jsou uvedeny v tab. 7.1.



Obr. 7.27: Souhrn výsledků pevnosti v tahu za ohybu



Obr. 7.28: Souhrn výsledků pevnosti v tlaku

Tab. 7.2: Souhrn výsledků zkoušky pro určení modulu pružnosti

Označení vzorku	Materiál	Modul pružnosti E [GPa]
E9-01	Malta 6	7,734
E9-02		7,262
E9-03		8,445
E9-04		11,814
E9-05		13,828
E9-06		9,780
Průměrná hodnota		9,811

Modul pružnosti malt závisí na celé řadě proměnných, nejdůležitější jsou tyto: složení směsi, vodní součinitel (poměr vody a cementu) a doba zrání. Typicky se modul pružnosti běžně používaných malt pohybuje v řádu jednotek GPa (viz např. [52], [53] a [54]). Průměrná hodnota modulu pružnosti zkoušené malty M9 (Vetromalta s přísadou Planicrete) je 9,81 GPa (viz tab. 7.2). Zkoušená malta se proto zásadně neliší od běžně používaných malt. Obdobně průměrné hodnoty pevnosti v tlaku (25,97 MPa) a v tahu za ohybu (9,86 MPa) odpovídají běžně používaným maltám. Místo a způsob porušení trámečků při ohybu a rozdrčení při tlaku také odpovídá chování běžně používaných malt.

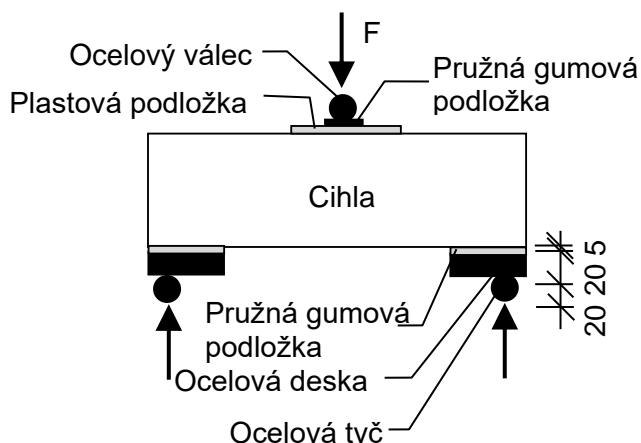
7.4 Zkoušky skleněných cihel v tahu za ohybu (třibodový ohyb)

Pro vytvoření správného numerického modelu jsou klíčová vstupní data, byly proto provedeny zkoušky mající za cíl zjistit mechanické vlastnosti skleněných cihel.

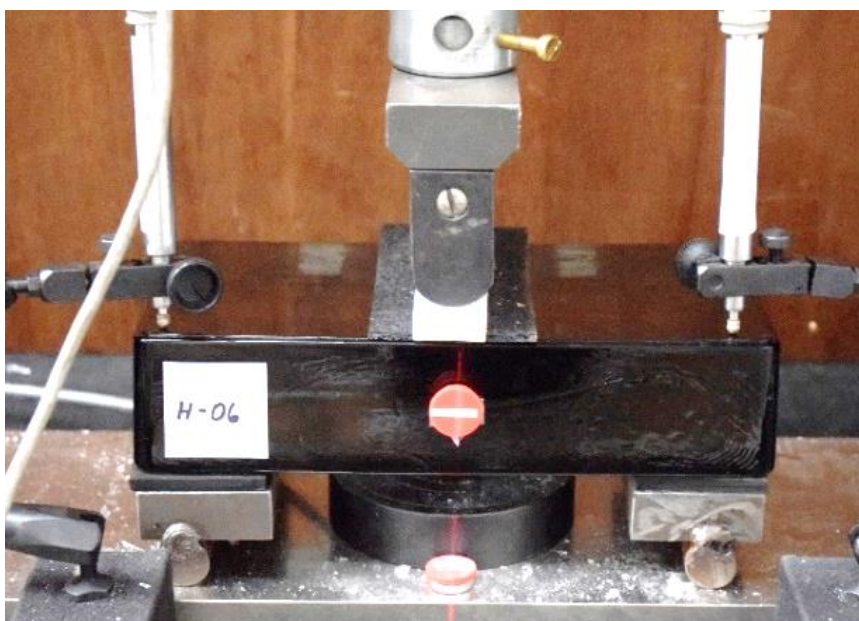
Pro určení modulu pružnosti a pevnosti v tahu za ohybu bylo použito zkoušky třibodovým ohybem. Na zkušební tělesa byly použity stejné cihly jako v předcházejících experimentech.

7.4.1 Uspořádání experimentu

Zkušební tělesa (skleněné cihly) byla do zkušebního zařízení umístěna vodorovně (viz obr. 7.29 a obr. 7.30) tak, jak se předpokládá jejich použití v konstrukci. Mezi skleněnou cihlu a ocelové desky byly vloženy pružné gumové podložky tloušťky 5 mm, aby se snížilo riziko vzniku lokálních špiček napětí a vznik trhlin v místě kontaktu s ocelovým prvkem. Ocelové desky tloušťky 20 mm byly podepřeny ocelovými tyčemi plného kruhového průřezu o průměru 20 mm. Zatížení bylo aplikováno pomocí ocelového válce průměru 20 mm umístěného uprostřed rozpětí. Mezi ocelový válec a skleněnou cihlu byla vložena plastová deska a gumová podložka. K měření zatlačení pružných gumových podložek bylo použito potenciometrických snímačů dráhy. Deformace uprostřed rozpětí byla měřena laserovým extenzometrem. Normálové napětí na spodním povrchu uprostřed rozpětí bylo měřeno nepřímým jedním tenzometrem. Zatížení bylo vnášeno rychlostí 0,5 mm/min. Cílem bylo vyzkoušeno šest zkušebních těles (skleněných cihel).



Obr. 7.29: Uspořádání zkoušky



Obr. 7.30: Zkušební těleso připravené ke zkoušce

7.4.2 Vyhodnocení experimentu

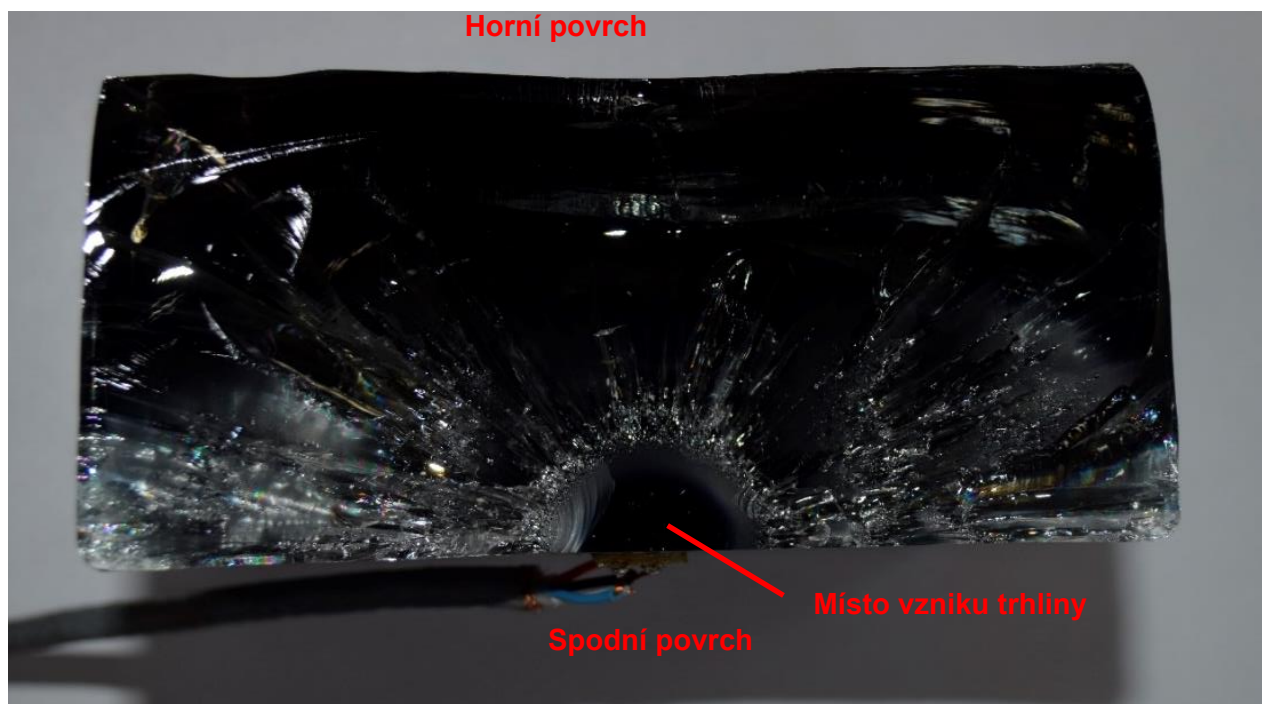
V souladu s předpokladem nastalo porušení ve všech případech náhle křehkým lomem bez předchozího varování a byla doprovázena výrazným hlasitým zvukem (prasknutím). Drcení skla v místech podpor nebo působiště zatížení nebylo zaznamenáno, k porušení došlo vždy přibližně uprostřed rozpětí na spodní (tažené) straně tělesa a trhлина se šířila směrem vzhůru. V jednom případě byl bod porušení uprostřed šířky průřezu (obr. 7.31 a obr. 7.32), ve všech ostatních případech byl bod porušení na hraně (obr. 7.33 a obr. 7.34).

Modul pružnosti byl dopočítán z naměřených dat. Plocha průřezu byla změřena v místě trhliny, napětí bylo dopočítáno z naměřených hodnot tenzometrů a relativní deformace uprostřed rozpětí byla získána odečtením deformací v podporách od deformace uprostřed rozpětí. Výsledky jsou shrnuty v tab. 7.3, na obr. 7.35 jsou znázorněny průběhy deformací v závislosti na působící síle (pracovní diagramy) pro jednotlivá zkušební tělesa.

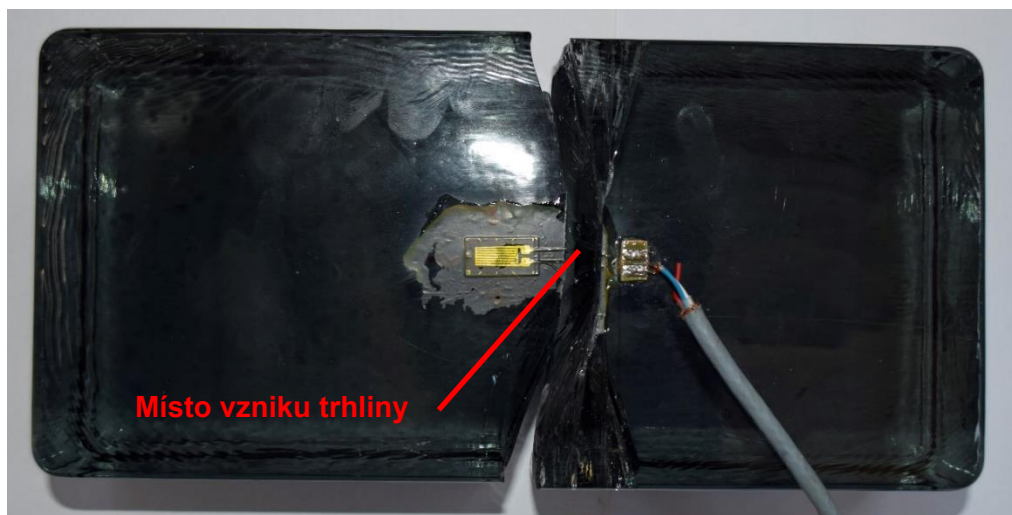
Tab. 7.3: Souhrn výsledků zkoušek skleněných cihel v třibodovém ohybu

Číslo tělesa	Průřezový modul W [mm ³]	Síla při porušení F _{max} [kN]	Napětí při porušení σ _{max} [MPa]	Modul pružnosti E [GPa]
H-01	54354	74,669	65,01	74,49
H-02	49157	81,268	79,31	82,61
H-03	47249	71,848	70,44	89,49
H-04	64250	82,193	60,62	63,05
H-05	52049	59,958	56,20	76,02
H-06	56023	64,275	55,01	69,14
Průměrné hodnoty			64,43	75,80

Modul pružnosti běžně používaného plaveného skla se v literatuře uvádí přibližně 70 GPa (viz např. [55] nebo [56]). Průměrná hodnota modulu pružnosti na základě provedených experimentů je 75,80 GPa (viz tab. 7.3). Lze tedy konstatovat, že skleněné cihly mají modul pružnosti přibližně stejný jako je pružnost plaveného sodno-vápenato-křemičitého skla.



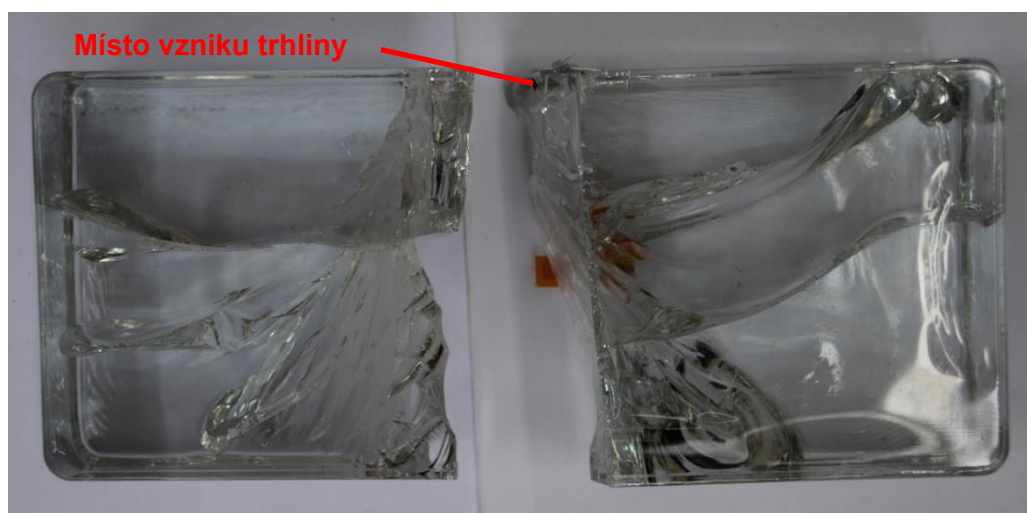
Obr. 7.31: Průřez tělesa porušeného uprostřed šířky



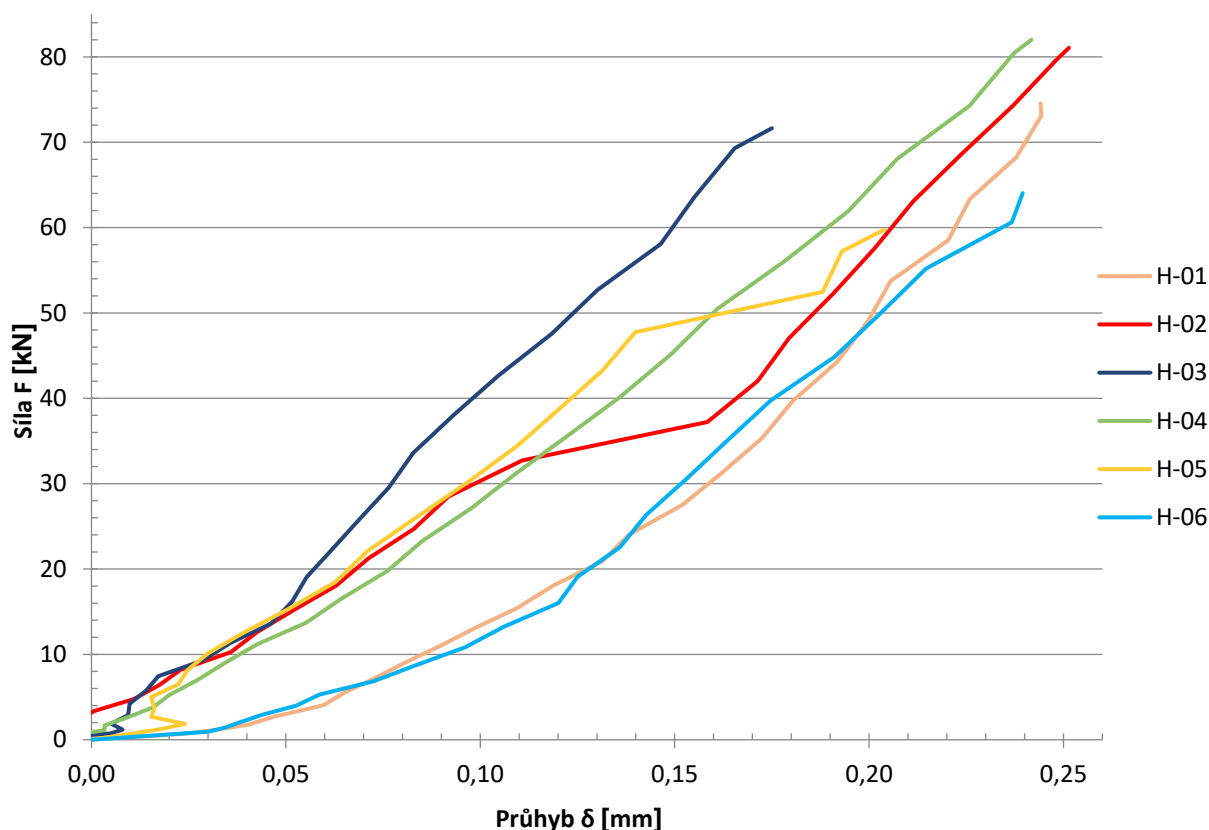
Obr. 7.32: Spodní líc tělesa porušeného uprostřed šířky



Obr. 7.33: Průřez tělesa porušeného u rohu



Obr. 7.34: Spodní líc tělesa porušeného u rohu



Obr. 7.35: Pracovní diagram ze zkoušek skleněných cihel

7.5 Zkoušky skleněných cihel v tlaku

Výrobce skleněných cihel si nechal provést zkoušky cihel v tlaku společností IKATES, s.r.o., ve výzkumné zprávě z těchto zkoušek [57] je uvedena průměrná pevnost v tlaku 109 MPa. Pro ověření této hodnoty byly provedeny zkoušky tří těles v tlaku.

7.5.1 Uspořádání experimentu

Cihly byly zkoušeny ve zkušebním stroji Heckert EDB400. Zatížení bylo řízeno silou. Cihly byly uloženy do sádrového lože na ocelový plech a shora přiklopeny ocelovým plechem do sádrového lože. Spodní ocelový plech byly tloušťky 8 mm, horní plech měl tloušťku 5 mm. Maltové lože bylo tloušťky přibližně 3 mm. Zkušební těleso a jeho uložení ve zkušebním stroji jsou na obr. 7.36 a obr. 7.37.

Během zkoušky byla zaznamenána síla při prvním porušení a maximální dosažená síla při rozdrčení.



Obr. 7.36: Zkušební těleso pro zkoušky cihel v tlaku



Obr. 7.37: Těleso ve zkušební stroji připravené ke zkoušce

7.5.2 Vyhodnocení experimentu

Ze všech tří zkoušených cihel vzešly výrazně odlišné výsledky, jejich shrnutí je v tab. 7.4. Velký rozptyl výsledků je přičítán malým tloušťkám maltového lože, které zřejmě nedostatečně nerozneslo lokální špičky napětí vzniklé vlivem nerovného povrchu cihel. Svou roli může hrát také poměrně malá tloušťka ocelových roznášecích plechů. V neposlední řadě nelze vyloučit vady materiálu samotných cihel například vměstky sulfidu nikelnatého nebo reziduální napětí vzniklá nerovnoměrným ochlazováním cihel při výrobě. Přestože byly cihly před zkouškou opticky zkontrolovány, nelze vyloučit ani případné mikroskopické poškození vzniklé při manipulaci.

Tab. 7.4: Souhrn výsledků ověřovacích zkoušek skleněných cihel v tlaku

Číslo tělesa	Síla při porušení F_{cr} [kN]	Napětí při porušení σ_{cr} [MPa]	Maximální dosažená síla F_{max} [kN]	Napětí při maximální síle σ_{max} [MPa]
C-01	2600	94,6	3645	132,6
C-02	1900	61,9	2260	82,2
C-03	450	16,4	1600	58,2

7.6 Vyhodnocení první etapy experimentů

Tato první etapa experimentů byla zaměřena především na vybrání vhodné kombinace úpravy povrchu a spojovacího materiálu. Pískovaný povrch dosahoval oproti hladkému (neupravenému) povrchu při smykových zkouškách vyšších únosností. V případě zdiva ze skleněných cihel je ale nutné brát v úvahu i estetické hledisko, neboť zdivo bude kromě nosné části plnit také designovou funkci. Dále nesmíme zapomenout, že pískování je při výrobě další operace navíc, která by výsledný produkt zdražovala. Po zvážení všech těchto okolností bylo proto rozhodnuto, že nadále bude zkoušeno výhradně zdivo z cihel nepískovaných.

Jak již bylo zmíněno v úvodu, tato práce se zaměřuje na materiály na cementové bázi, čili malty a lepidla na dlažby. Lepidla na bázi polyuretanu, epoxidu nebo silikonu nebyla předmětem tohoto výzkumu. Vyzkoušelo se pouze pro porovnání jedno polyuretanové lepidlo a jedna epoxidová pryskyřice. Jejich únosnosti byly dle očekávání vysoké, ovšem pro požadované tloušťky jsou tato lepidla nevhodná a neúměrně drahá. Tento výzkum byl cílen na konstrukce co nejvíce se podobající klasickému režnému zdivu, od toho se odvíjela tloušťka spár mezi cihlami. Původním záměrem bylo dosáhnout tloušťky okolo 1 cm, při smykových zkouškách se však ukázalo, že při této tloušťce dochází k rozpadnutí tělese ještě před zkouškou vinou malé adheze malty ke sklu. Byla proto provedena série experimentů zaměřená na vliv tloušťky spáry, na základě které bylo vyhodnoceno, že dostatečné únosnosti je dosaženo pro tloušťky spár přibližně do 7 mm. Vzhledem k rozměrům cihel byla pro všechny experimenty ve druhé etapě volena tloušťka spár 8 mm.

Největší únosnost vykazovala malta 7 (Nivoplan s přísadou Planicrete) následovaná maltou 9 (Vetromalta s přísadou Planicrete). Přísada Planicrete, která je na bázi latexu, zvýšila adhezi malty ke sklu ve srovnání s ostatními typy malt, které tuto přísadu neobsahovaly. Finální výběr malty, která byla následně použita při experimentech zděných pilířů, závisel nejen na výsledcích materiálových zkoušek, ale rovněž na dostupnosti a ceně malty. S ohledem na výše zmíněné skutečnosti byla vybrána Vetromalta s přísadou Planicrete. V případě konstrukčních prvků namáhaných výhradně tlakem nebude mít použitá malta na únosnost pilíře významný vliv. Pokud by konstrukční prvek byl namáhan na ohyb nebo na kombinaci tlak s ohybem, bylo by potřeba zvážit jiný typ malty s lepší adhezí.

Z materiálových zkoušek byly získány hodnoty potřebné pro numerický model. V případě skla se ukázalo, že modul pružnosti litého skla je téměř totožný s běžně udávaným modulem pružnosti plochého skla. Stejně tak hodnoty pevnosti malt v tlaku a v tahu za ohybu nevykazovaly výraznější odchylky od běžně používaných malt.

8 DRUHÁ ETAPA EXPERIMENTŮ

V rámci této etapy byly provedeny zkoušky v tlaku na malých tělesech sloužící k určení modulu pružnosti zdiva. Dále byly provedeny zkoušky velkých těles, při kterých byla ověřena únosnost centricky a excentricky zatěžovaného pilíře a odolnost proti nárazu měkkým a tvrdým tělesem.

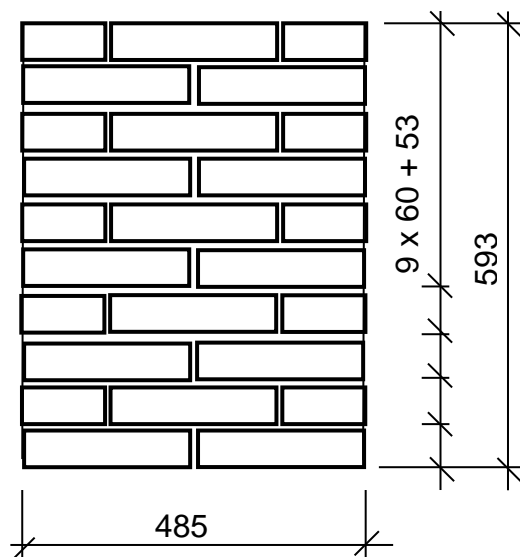
8.1 Zkoušky zdiva v tlaku

Zkušební tělesa byla vyrobena v souladu s normou ČSN EN 1052-1, [50], z dvaceti cihel spojených navzájem Vetromaltou s příměsí Planicrete, viz kap. 7.6. Tělesa byla vyrobena ze skleněných cihel shodných s těmi, které byly použity při předchozích experimentech. Na tvorbu těles byly dále použity cihly polovičního formátu.

8.1.1 Zkušební tělesa a jejich výroba

Rozměry těles C9-01 a C9-02 pro zkoušky v tlaku jsou patrné z obr. 8.1. Celkem byla zkoušena dvě tělesa, každé z nich bylo vyzděno do výšky deseti řad, což představuje přibližně 0,6 m. Šířka tělesa byla na dvě cihly, tedy přibližně 490 mm. Tloušťka odpovídá šířce jedné cihly, tedy 117 mm. Tělesa byla vyzděna na ocelové desky tloušťky 10 mm, aby se usnadnila manipulace, protože po vyzdění a zatvrdnutí malty byla přenesena na místo zkušebního zařízení.

První vrstva cihel byla uložena do maltového lože tloušťky přibližně 10 mm. Vyzdívání probíhalo pomocí dřevěné desky, která svírala s podlahou úhel 90°. Tento způsob zdění měl za cíl dosáhnout co nejlepší svislosti pilíře. Tloušťky ložných a styčných spár byly zajištěny během zdění pomocí distančních křížků tl. 8 mm, které byly po vyzdění celého pilíře odebrány a spáry byly zahlazeny. Zkušební těleso pro první experiment je znázorněno na obr. 8.2.



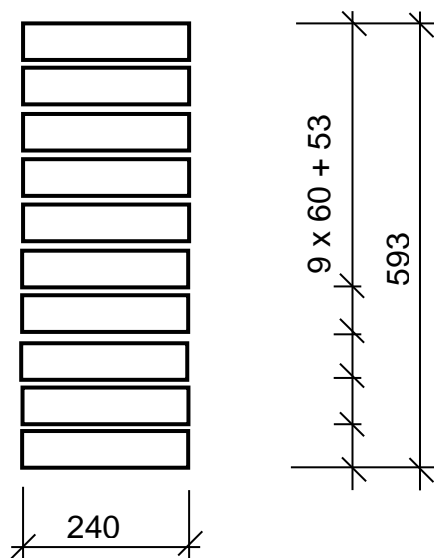
Obr. 8.1: Rozměry těles C9-01 a C9-02 pro zkoušku v tlaku

Dále bylo vyzkoušeno jedno těleso (C9-03) tvořené deseti cihlami vyzděnými na sebe (viz obr. 8.3 a obr. 8.4). Šířka tělesa byla na jednu cihlu, tedy přibližně 240 mm. Tloušťka odpovídá šířce jedné cihly, tedy 117 mm. Těleso bylo opět vyzděno do maltového lože na ocelovou desku z plechu tloušťky 10 mm pro snazší manipulaci při přepravě tělesa

na místo zkoušky. V hlavě pilíře byla do maltového lože osazena ocelová deska opět z plechu tloušťky 10 mm pro snížení rizika rozdrčení horní cihly vlivem koncentrovaného zatížení. Malta byla připravena ve stejném poměru jako v předchozím experimentu, viz kap. 7.1.5. Rovnoměrná tloušťka spár byla zajištěna během zdění pomocí distančních křížků tl. 8 mm.



Obr. 8.2: Zkušební těleso C9-01 a C9-02 pro zkoušku v tlaku



Obr. 8.3: Rozměry tělesa C9-03 pro zkoušku v tlaku



Obr. 8.4: Zkušební těleso C9-03 pro zkoušku v tlaku

8.1.2 Uspořádání experimentu

Zkušební těleso C9-01 a C9-02 bylo zatěžováno centrickým tlakem. Do zkušebního zařízení bylo těleso vloženo i s ocelovou deskou na gumové podložky, aby došlo k vyrovnání drobných nepřesností a nedocházelo tak ke vzniku lokálních špiček napětí. Tlaková síla byla na těleso přenášena pomocí dvojice ocelových profilů IPN180, jak je patrné na obr. 8.5. Během prvního experimentu (těleso C9-01) bylo zjištěno, že zvolené ocelové profily nemají dostatečnou únosnost (viz obr. 8.6), a tak bylo rozhodnuto, že pro druhý experiment (těleso C9-02) budou ocelové profily zesíleny přivařením ocelových výztuh (viz obr. 8.7 a obr. 8.8). IPN profily byly uloženy na poslední řadu cihel do sádrového lože o tloušťce přibližně 2 mm.



Obr. 8.5: Zkušební těleso C9-01 osazené ve stroji a připravené ke zkoušce



Obr. 8.6: Zdeformované ocelové nosníky po experimentu (těleso C9-01)

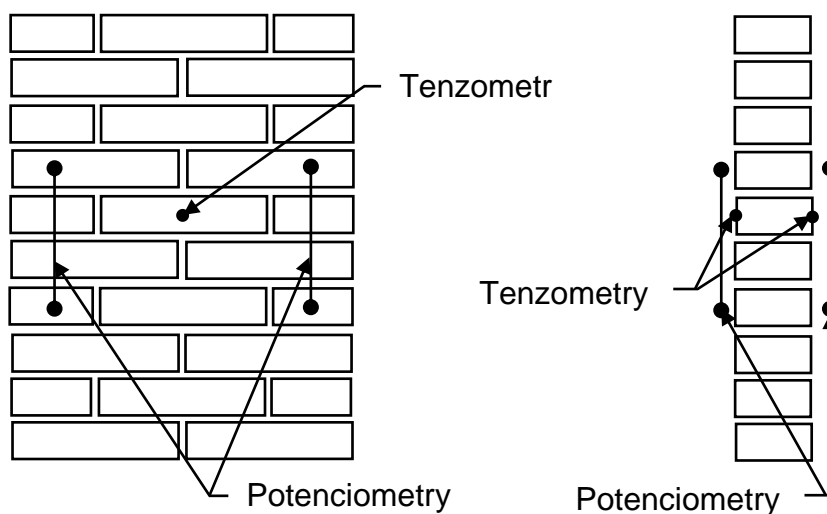


Obr. 8.7: Roznášecí nosníky s přivařenými výztuhami

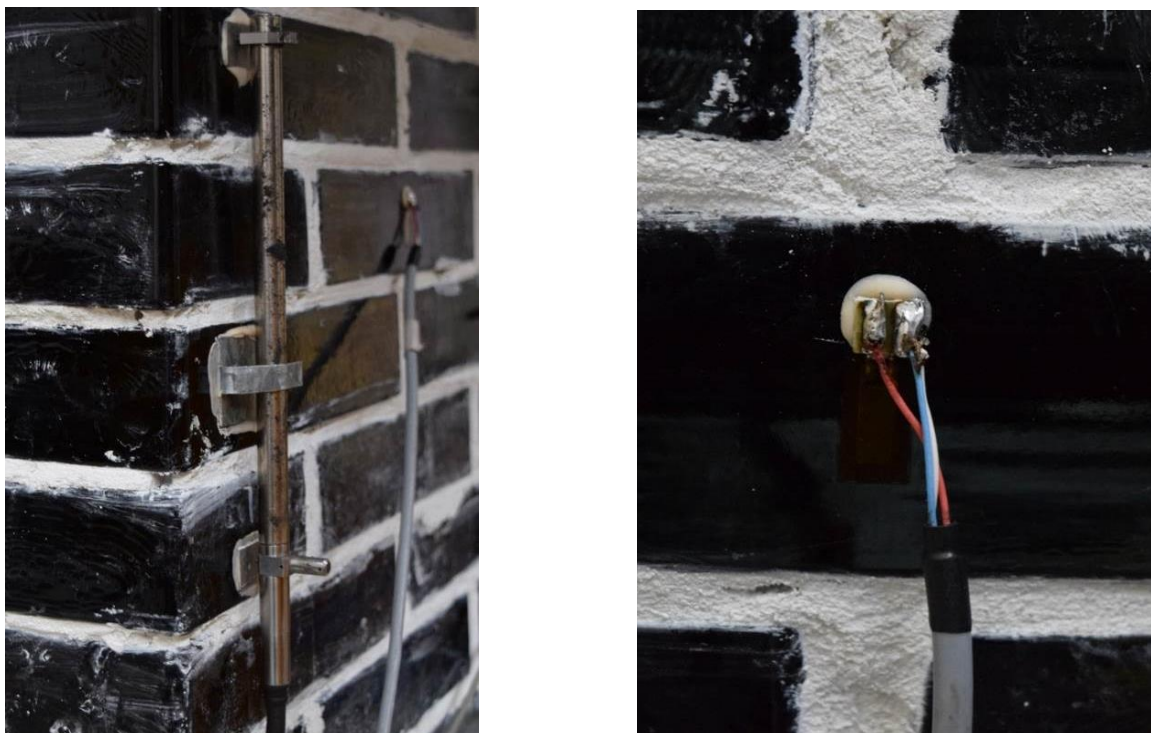


Obr. 8.8: Detaily výztuh ocelových nosníků

Na zkušební těleso C9-01 byly osazeny čtyři potenciometrické snímače ke zjištění svislé poměrné deformace. Na zkušební těleso C9-02 byly kromě potenciometrů umístěny i dva tenzometry k nepřímému měření napětí. Tenzometry byly umístěny přibližně uprostřed výšky na opačných stranách pilíře, aby bylo možné zjistit případný ohyb způsobený nedostatečnou svislostí pilíře. Rozmístění a způsob uchycení snímačů na konstrukci jsou patrné z obr. 8.9 a obr. 8.10.

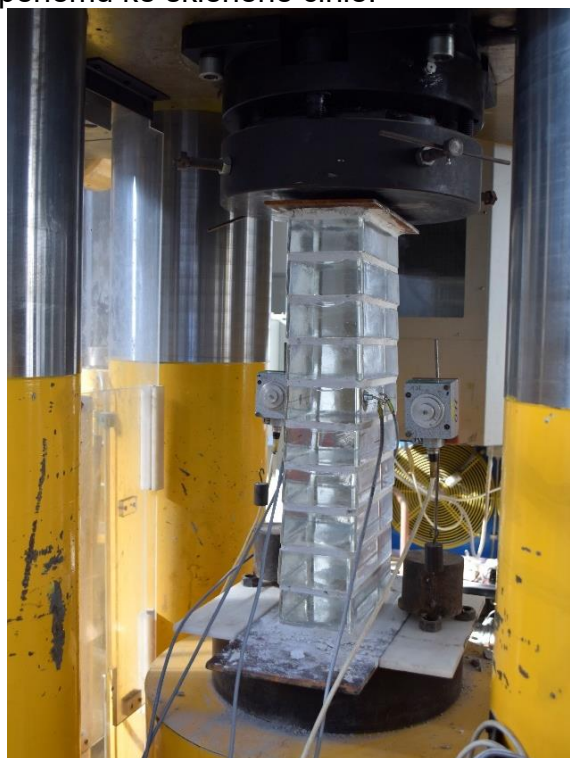


Obr. 8.9: Rozmístění senzorů – zkušební těleso C9-02

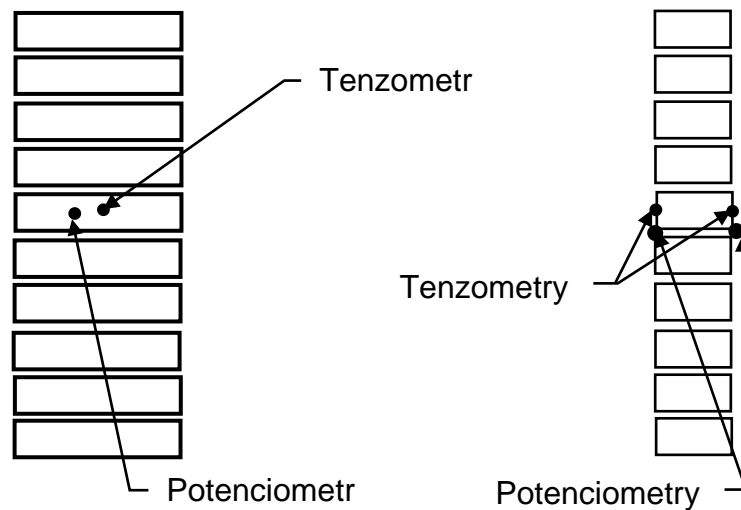


Obr. 8.10: Způsob osazení potenciometrů (vlevo) a tenzometrů (vpravo)

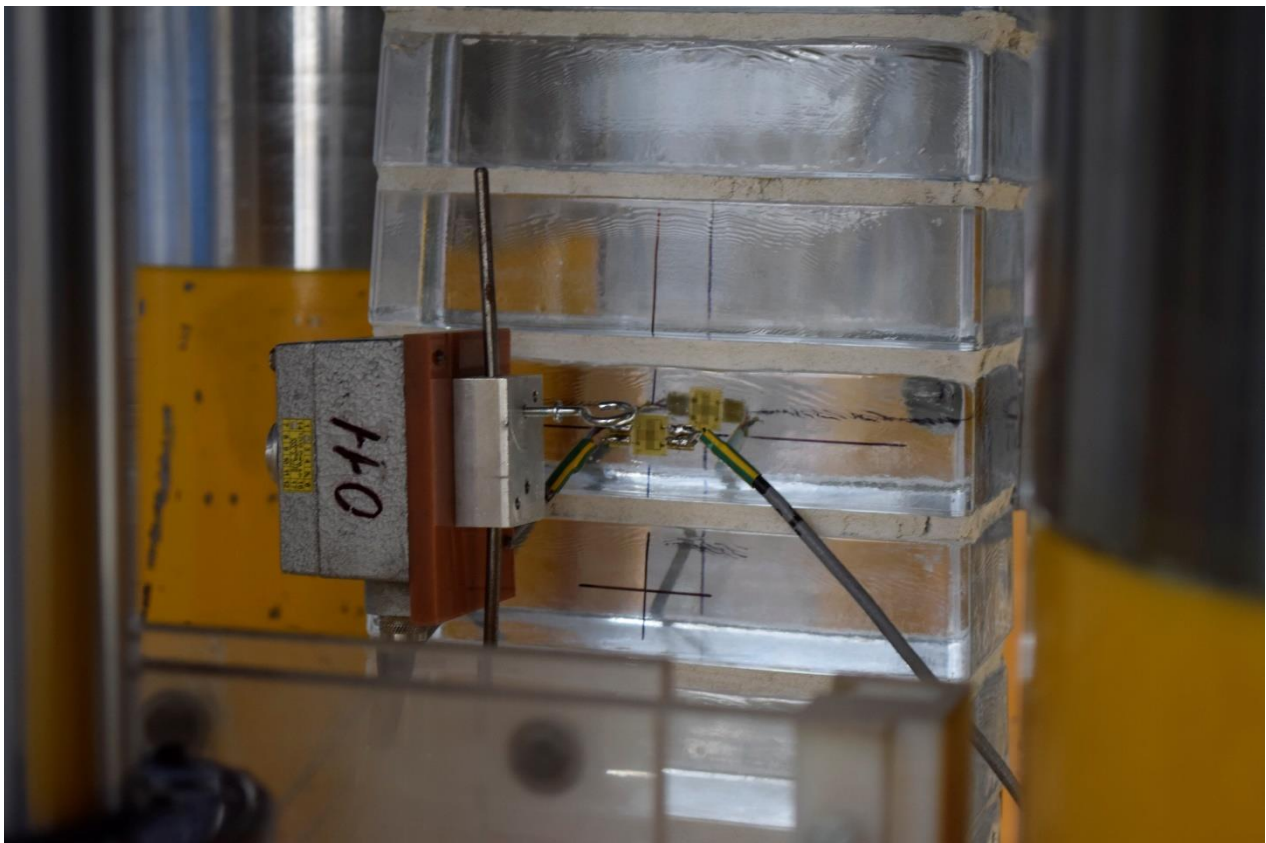
Při zkoušce úzkého pilíře C9-03 byly osazeny dva křížové tenzometry pro měření svislého a vodorovného napětí a dva kladkové potenciometrické snímače dráhy pro určení deformací ve vodorovném směru. Na obr. 8.11 je těleso umístěné ve zkušebním zařízení, osazené měřiči a připravené ke zkoušce, na obr. 8.12 je schéma rozmístění měřičů. Obr. 8.13 zobrazuje připevnění tenzometru k tělesu. Struna tenzometru byla připevněna k háčku přilepenému ke skleněné cihle.



Obr. 8.11: Zkušební těleso C9-03 osazené ve zkušebním zařízení připravené ke zkoušce



Obr. 8.12: Rozmístění senzorů na zkušebním tělese C9-03



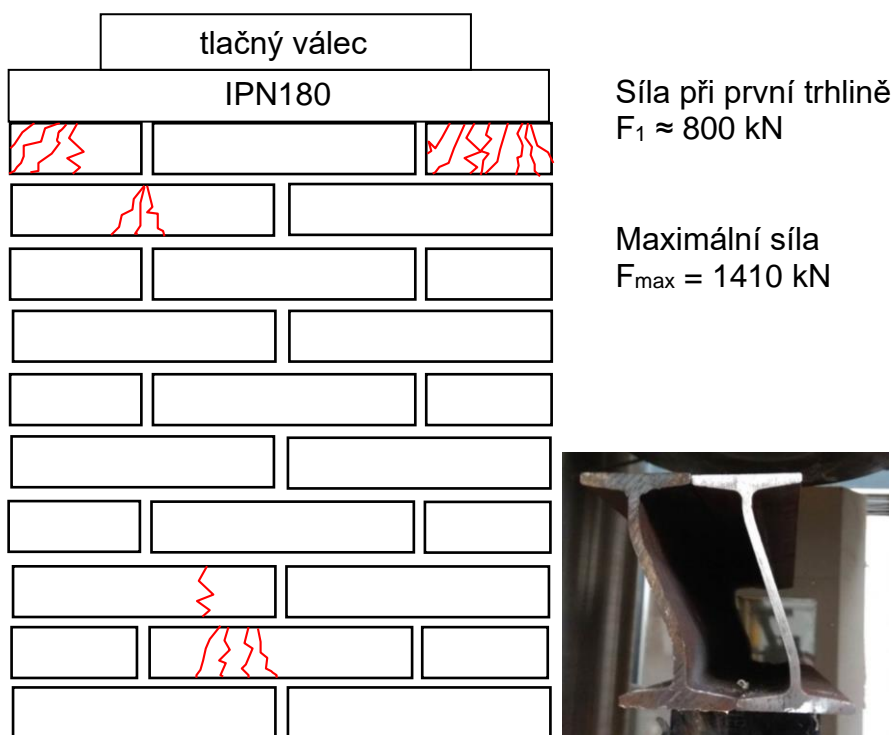
Obr. 8.13: Způsob osazení tenzometrů na zkušebním tělese C9-03

Experiment byl v případě všech zkušebních těles řízen silou, rychlost přitěžování byla 1 kN/min. Přitěžování probíhalo po krocích, mezi kterými byla přestávka 2 min. Jednotlivé kroky byly: 0 – 500 kN, 500 – 700 kN, 700 – 800 kN, 800 – 1000 kN, 1000 – 1100 kN a 1100 – 1300 kN.

8.1.3 Vyhodnocení experimentu

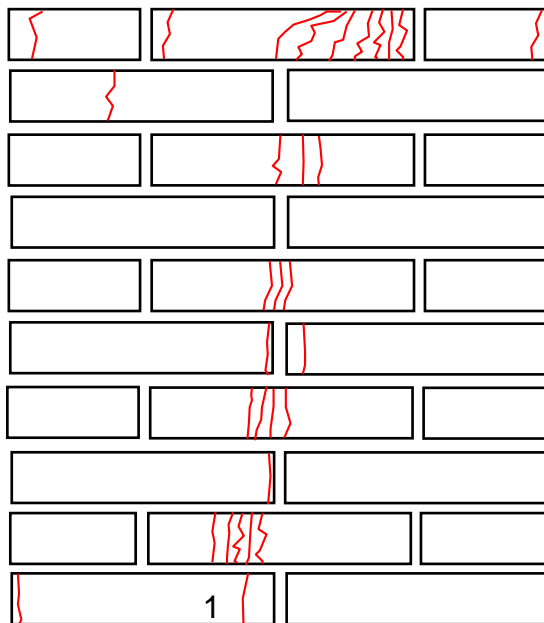
V průběhu všech experimentů bylo slyšet výrazné praskání, které signalizovalo vznik trhlin ve skleněných cihlách. Vznik trhlin ale neměl za následek kolaps či deformaci zkušebního tělesa, které bylo schopné dále přenášet zatížení. Proto bylo rozhodnuto o pokračování ve zkoušce. Potenciometry byly ze zkušebního tělesa sejmuty při síle 1000 kN, aby se předešlo jejich poškození při případném kolapsu zkušebního vzorku.

V případě tělesa C9-01 se praskání začalo ozývat při působící síle přibližně 800 kN. Zkouška byla zastavena po zdeformování roznášecích ocelových IPN nosníků, ke kterému došlo při síle 1410 kN. Na obr. 8.14 jsou zakresleny trhliny zdokumentované po ukončení experimentu zkušebního tělesa C9-01 a vyndání tělesa ze zkušebního zařízení. Bohužel se nepodařilo zaznamenat, která trhlina se objevila jako první, ale bylo pozorováno, že prasknutí cihel v nejvyšší řadě nastalo ve chvíli kolapsu nosníků, pravděpodobně vlivem lokálních špiček napětí, které byly způsobeny nerovnoměrným namáháním pod deformovaným roznášecím nosníkem.



Obr. 8.14: Výskyt trhlin v tělese C9-01

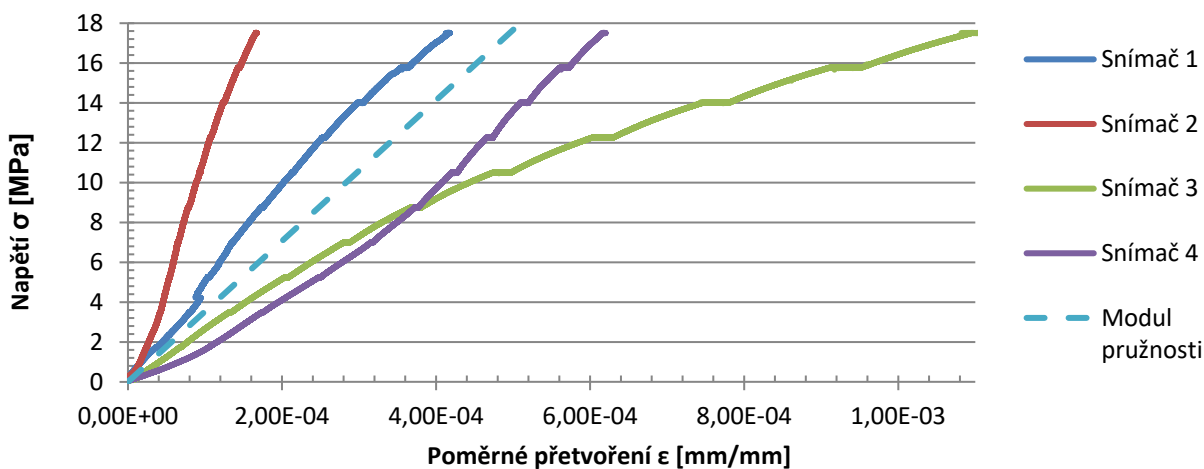
U tělesa C9-02 byl důsledněji sledován rozvoj trhlin. Bylo proto možné zaznamenat vznik první trhliny – jednalo se o prostřední cihlu v druhé řadě od spodu. První trhlina se opět objevila při působící síle přibližně 800 kN. Experiment byl ukončen automaticky při maximální působící síle 1565 kN, protože došlo k náhlému poklesu síly, který měřicí soustava vyhodnotila jako porušení konstrukce. Vizuálně ale konstrukce nejevila známky kolapsu. Kromě prasklých cihel, viz obr. 8.15, nedošlo k popraskání malty ve spárách.



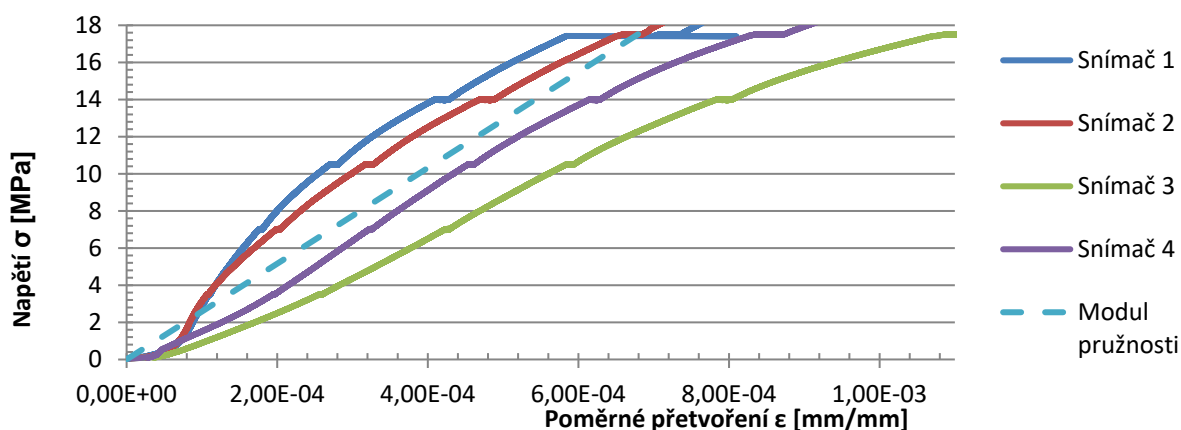
1 – místo vzniku první trhliny

Obr. 8.15: Výskyt trhlin v tělese C9-02

Ze zkoušek těles C9-01 a C9-02 byly dle normy ČSN EN 1052-1, [50], vyhodnoceny hodnoty modulu pružnosti zdiva a pevnosti zdiva v tlaku. Pracovní diagramy s vypočteným modulem pružnosti a průběhy z jednotlivých snímačů jsou znázorněny na obr. 8.16 a obr. 8.17. Ze zkoušky tělesa C9-01 byla určena hodnota modulu pružnosti 35,32 GPa a hodnota pevnosti v tlaku 24,70 MPa. Ze zkoušky tělesa C9-02 byla určena hodnota modulu pružnosti 25,79 GPa a hodnota pevnosti v tlaku 27,42 MPa. Zprůměrováním hodnot z těchto dvou zkoušek byl určen průměrný modul pružnosti 30,56 GPa a průměrná pevnost zdiva v tlaku 26,06 MPa.

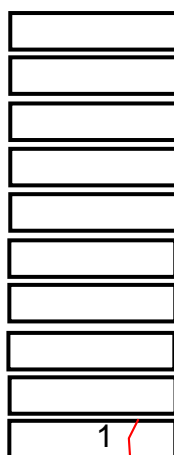


Obr. 8.16: Pracovní diagram tělesa C9-01



Obr. 8.17: Pracovní diagram tělesa C9-02

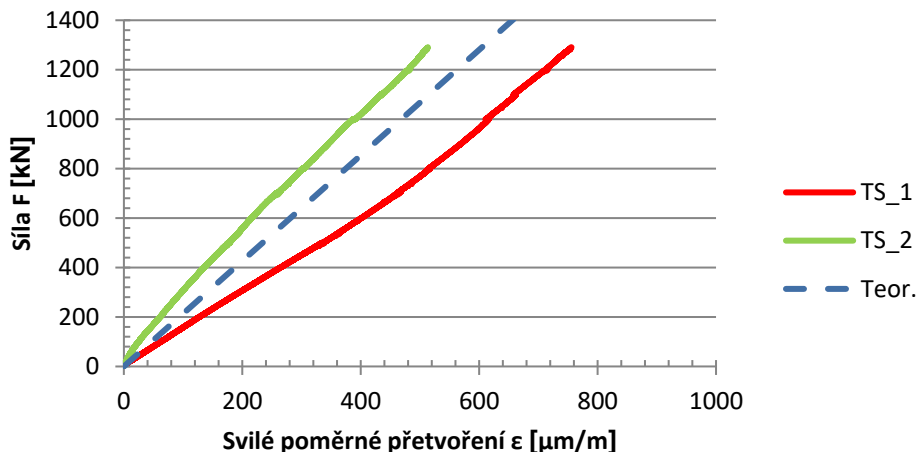
V případě úzkého pilíře (těleso C9-03) se první trhлина objevila při síle 960 kN v první cihle od spodu, viz obr. 8.18. Experiment byl zastaven při síle 1290 kN, neboť s rostoucí silou došlo k drcení porušené cihly. Ostatní cihly nejevily známky porušení.



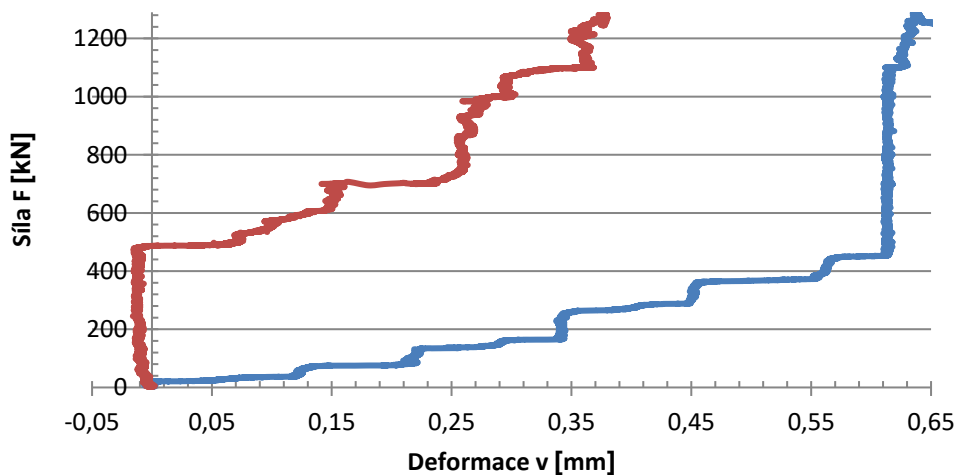
1 – místo vzniku první

Obr. 8.18: Výskyt trhlin v tělese C9-03

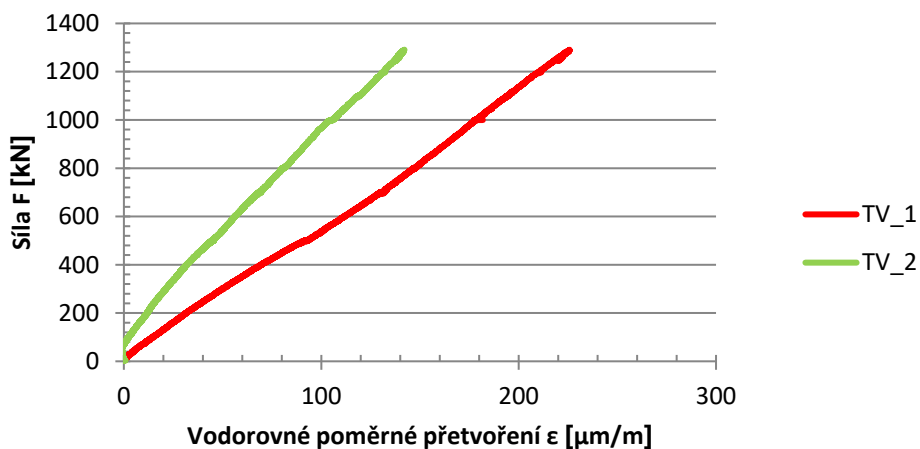
Na obr. 8.19 je vyobrazen průběh nárůstu svislého poměrného přetvoření během zatěžování určený z tenzometrů umístěných na tělese C9-03. Čárkovanou čarou je znázorněn teoretický průběh, který by nastal, pokud by těleso bylo tvořeno homogenním izotropním materiálem s konstantním obdélníkovým průřezem 240 x 117 mm. Vzhledem k tomu, že sklon naměřených hodnot se příliš neliší od hodnot teoretických, lze prohlásit, že zkoumané těleso bylo zatěžováno centrickým tlakem, čili nedocházelo k ohýbání. Toto tvrzení podporují i data z potenciometrických měřičů deformací, ze kterých vyplývá, že maximální deformace se pohybovala do 0,6 mm (viz obr. 8.20), což je vzhledem k přesnosti tohoto typ snímačů zanedbatelná hodnota. Rozdíl v napětích na jednotlivých tenzometrech lze přičíst na vrub nehomogenitě tělesa. Graf na obr. 8.21 zobrazuje průběh vodorovných poměrných přetvoření, tj. příčných tahů vznikajících od svislého zatížení.



Obr. 8.19: Průběh svislého poměrného přetvoření během zkoušky tělesa C9-03



Obr. 8.20: Průběh vodorovných deformací během zkoušky tělesa C9-03



Obr. 8.21: Průběh vodorovného poměrného přetvoření při zkoušce tělesa C9-03

Jak již bylo uvedeno výše, první trhlinka vznikla při síle 960 kN, čemuž odpovídají svislá (tlaková) napětí na tenzometrech 45,56 MPa při jednom povrchu a 28,10 MPa při druhém povrchu a vodorovná (tahová) napětí 13,10 MPa respektive 7,52 MPa. Přestože byla snaha provést zkoušku jako centricky tlačenu, rozdíl v napětí při jednom a druhém povrchu ukazuje, že došlo k ohybu pilíře. Ohyb byl s největší pravděpodobností způsoben imperfekcemi z výroby (zdění) pilíře.

Během experimentů bylo zjištěno, že i při značných tlakových silách nedochází při vzniku trhlin k odlétávání kousků skla a konstrukce i nadále plní nosnou funkci. Toto zjištění je důležité při použití zdiva na nosné konstrukce, neboť v případě dosažení únosnosti nedojde ke kolapsu konstrukce, ale naopak vznik trhlin a zvukový doprovod (praskání) včas upozorní na překročení pevnosti.

8.2 Zkouška zděného pilíře

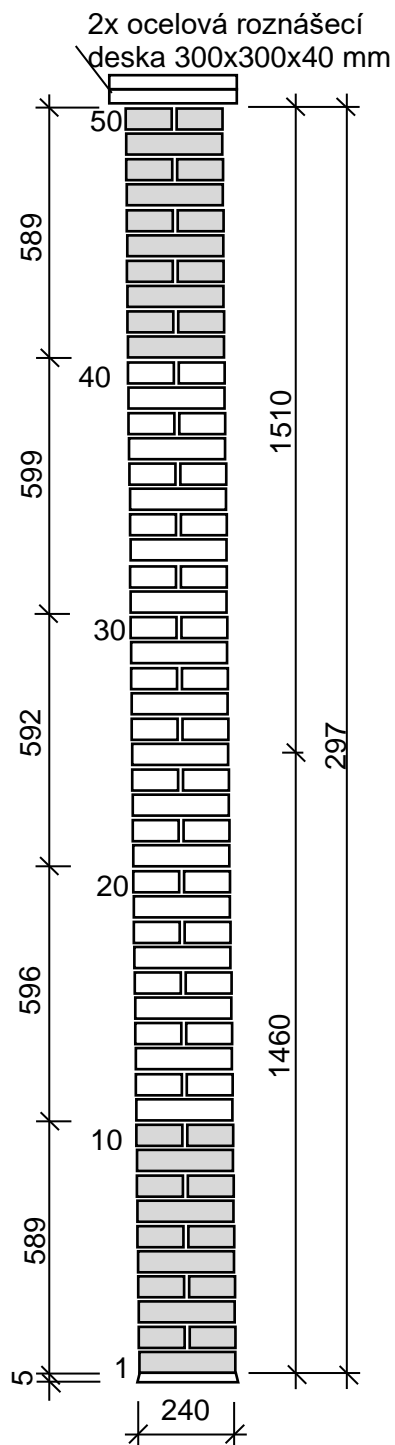
Cílem zkoušky bylo stanovit únosnost pilíře vyzděného z plných skleněných cihel při namáhání centrickým tlakem, excentrickým tlakem a odolnost při nehodové situaci, která byla simulována nárazem měkkého a tvrdého tělesa na pilíř v polovině jeho výšky. Celkem byly vyzděny dva pilíře o výšce 3 m, která odpovídá běžné konstrukční výšce podlaží. Na pilíř byly použity cihly stejných vlastností a rozměrů jako v předcházejících experimentech. Pro spojení cihel byla použita malta Vetromalta s přísadou Planicrete. Tato směs byla při předchozích experimentech označována jako materiál č. 9. Malta byla míchána ve stejném poměru jako při předchozích experimentech, v poměru suchá složka : voda : Planicrete 1,92kg : 0,2 l : 0,2 l.

8.2.1 Zkušební tělesa a jejich výroba

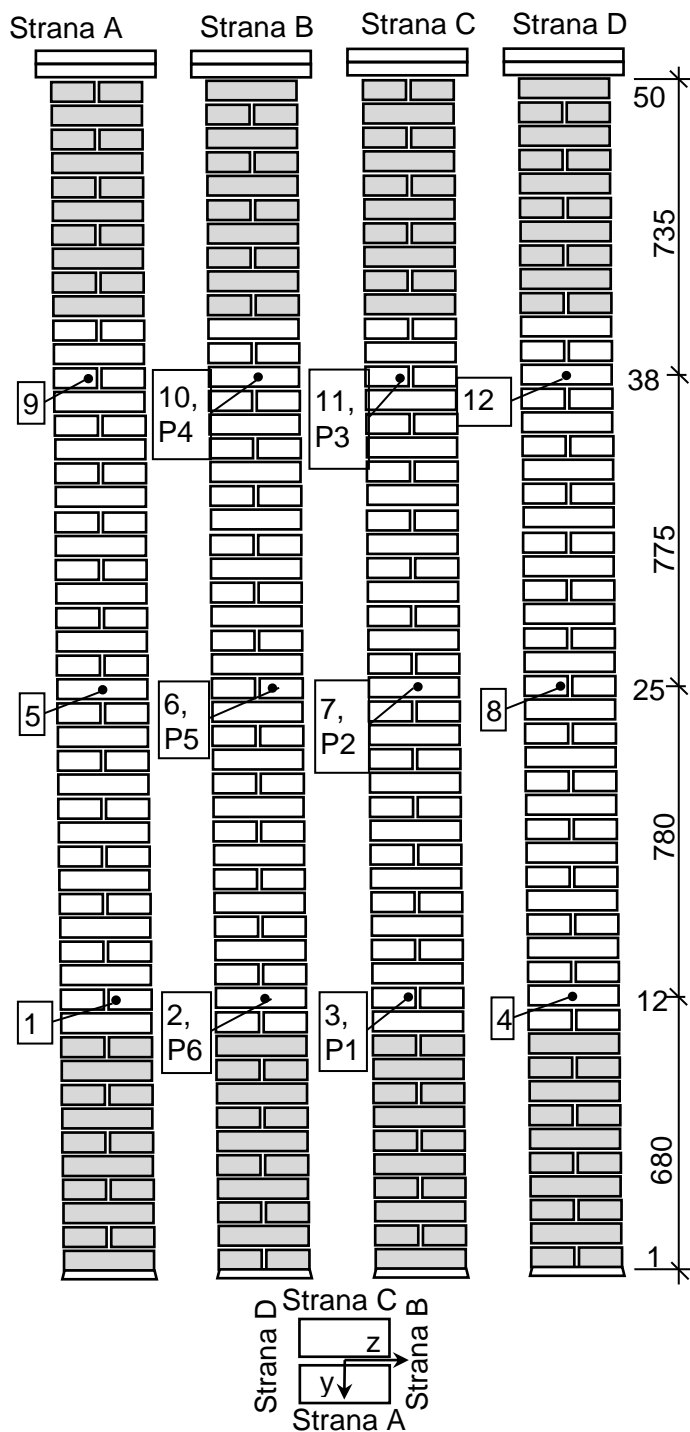
Zkušební těleso (zděný pilíř) bylo vyzděno přímo v Experimentálním centru Stavební fakulty ČVUT, aby nedošlo k poškození při přepravě. Půdorys pilíře byl čtvercový o rozměrech 240 x 240 mm. Každá vrstva byla tvořena dvojicí cihel vedle sebe a jednotlivé vrstvy byly vůči sobě pootočený o 90° tak, aby bylo zajištěno provázání zdiva. První vrstva byla uložena do maltového lože tloušťky 5 mm na podlahu zkušebny. Ložné spáry byly s ohledem na předchozí experimenty zvoleny o tloušťce 8 mm. Pro zajištění jejich stejné tloušťky byly použity distanční křížky o velikosti 8 mm, které byly před vytvrdnutím malty odstraněny a otvory po nich byly vyplněny maltou. K zajištění co největší svislosti pilíře probíhalo zdění podle ocelových profilů, které byly kotveny ve spodní části k vyzděné části pilíře a v horní části k ocelovému rámu, viz obr. 8.22. Výsledná výška sloupu od podlahy po horní hranu cihly poslední vrstvy byla 2970 mm pro první experiment (viz schéma na obr. 8.23) a 2998 mm pro druhý experiment (obr. 8.25). Na horní vrstvu cihel byla do maltového lože uložena ocelová deska o rozměrech 300 x 300 x 40 mm. Na tuto desku byla uložena další ocelová deska stejných rozměrů, do které byl přes kulový kloub opřen hydraulický zatěžovací válec.



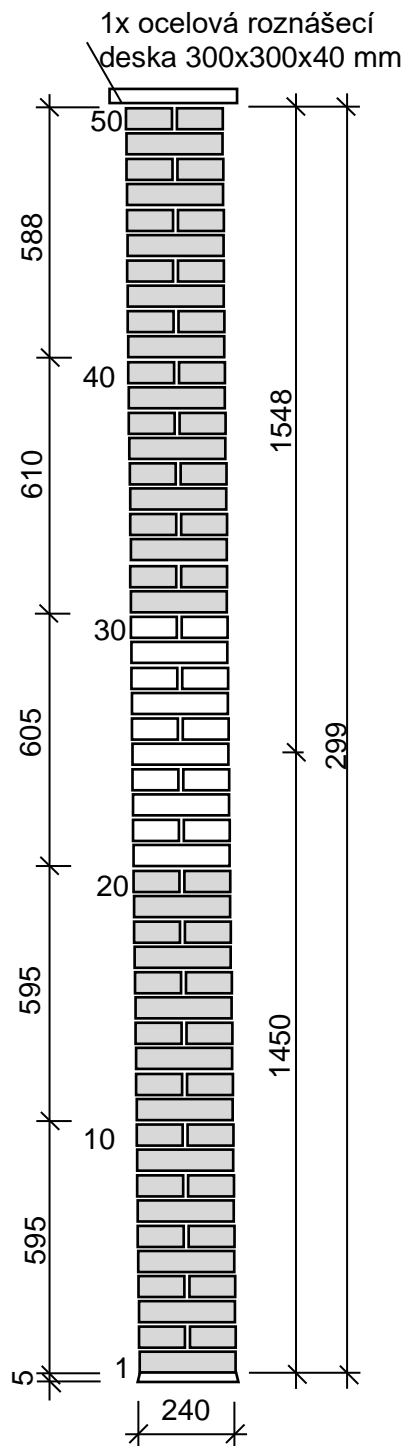
Obr. 8.22: Ocelové profily pro zajištění svislosti pilíře



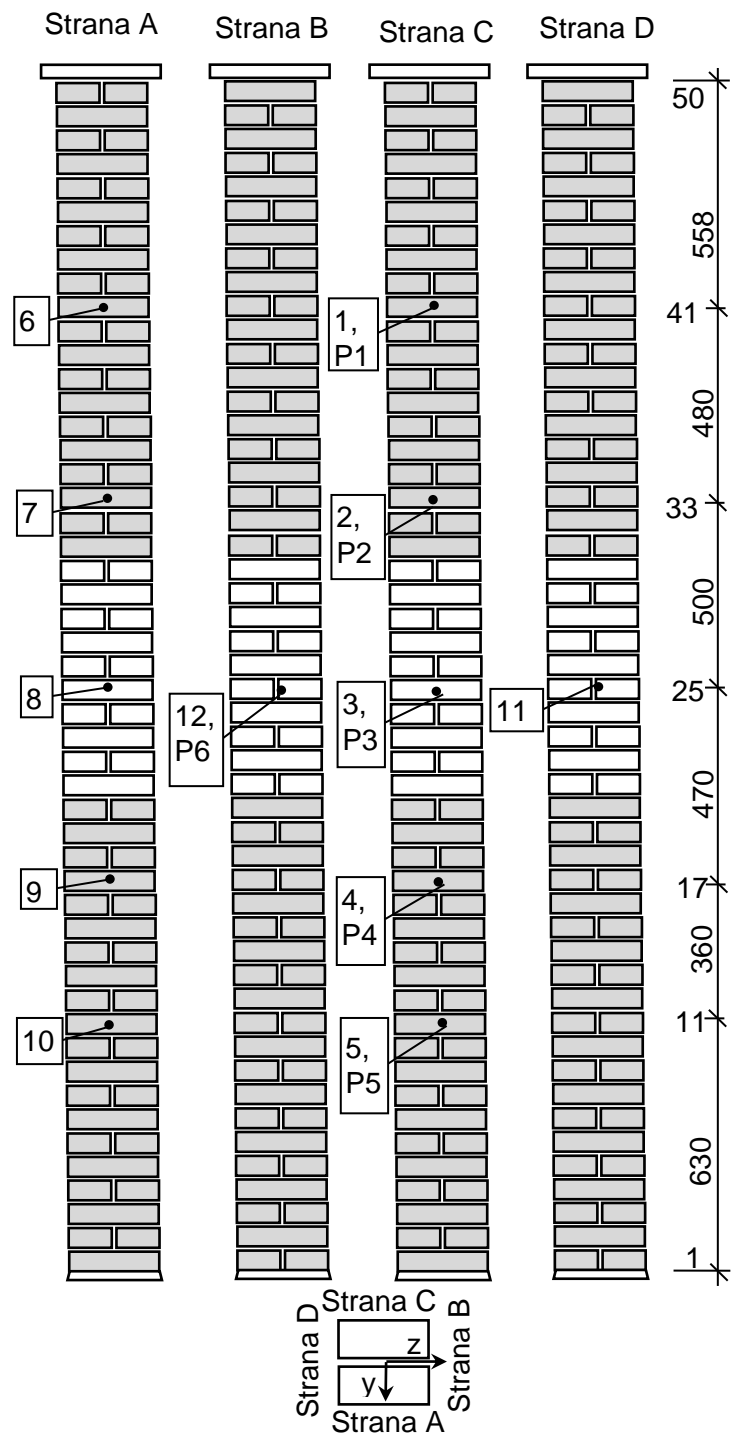
Obr. 8.23: Rozměry pilíře (experiment 01)



Obr. 8.24: Schéma osazení snímačů (experiment 01)



Obr. 8.25: Rozměry pilíře (experiment 02)



Obr. 8.26: Schéma osazení snímačů (experiment 02)

8.3 Použité zkušební a měřicí zařízení

K zatěžování byl použit elektrohydraulický zatěžovací stroj INOVA EU 2000D se silovým válcem o maximálním zatížení 2500 kN, k měření působící síly byl užit siloměr o maximální hodnotě měřené síly 2000 kN. Data ze snímačů dráhy a z tenzometrů byla zaznamenávána pomocí ústředny Dewetron DEWE-2602. Deformace byly při prvním experimentu měřeny potenciometrickými snímači dráhy (značeny jako P1 – P6) a poměrná deformace byla měřena tenzometry (značeny čísly 1 – 12). Schéma osazení měřičů je na obr. 8.24. Z obr. 8.27 je patrný způsob upevnění snímačů ke konstrukci, na obr. 8.28 je vyobrazen potenciometrický kladkový snímač dráhy použitý pro měření deformací.

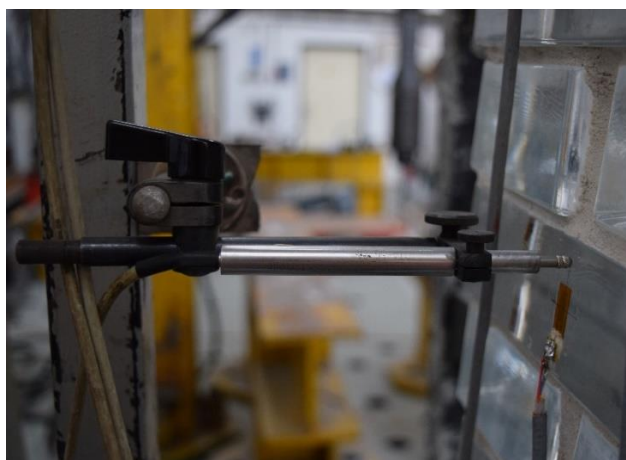


Obr. 8.27: Způsob upevnění snímačů



Obr. 8.28: Potenciometrický kladkový snímač dráhy

Vzhledem k nízké hodnotě deformací naměřených při prvním experimentu, bylo rozhodnuto použít pro měření deformací při druhém experimentu přesnější indukční snímače dráhy, viz obr. 8.29, jejichž rozmístění a značení (P1 – P6) je uvedeno na obr. 8.26. Poměrná deformace byla měřena opět tenzometry (značeny čísly 1 – 12).



Obr. 8.29: Způsob upevnění indukčních snímačů

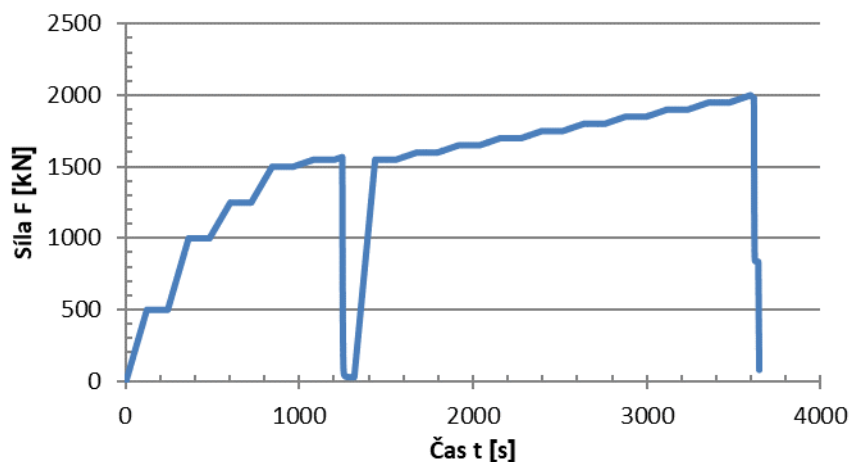
Kromě výše zmíněných snímačů byla zkouška snímána kamerami. Při prvním experimentu byla použita kamera synchronizovaná se záznamem dat ze snímačů a kamera s vysokou snímkovací frekvencí.

8.4 Zděný pilíř zatížený centrickým tlakem – experiment 01

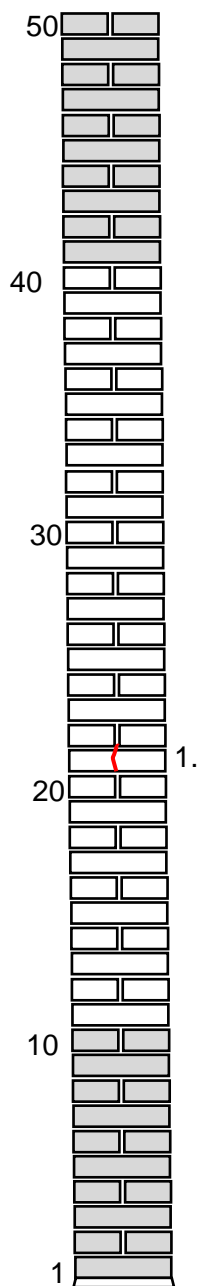
Zatěžování pilíře centrickým tlakem bylo řízeno silou. Zkouška byla rozdělena na tři etapy – zatěžování prostým centrickým tlakem, náraz měkkým tělesem a náraz tvrdým tělesem. Nejprve byl pilíř zatížen na sílu 2000 kN, kterou umožňuje vyvinout použité zkušební zařízení (1. etapa), po této etapě došlo k odtížení na nenulovou hodnotu (hodnoty 200, 100 a 50 kN) a provedení zkoušky nárazem pomocí koženého vaku vyplněného skleněnými kuličkami (měkké těleso – 2. etapa) a následně pomocí ocelové koule (tvrdé těleso – 3. etapa).

8.4.1 Zatížení prostým tlakem

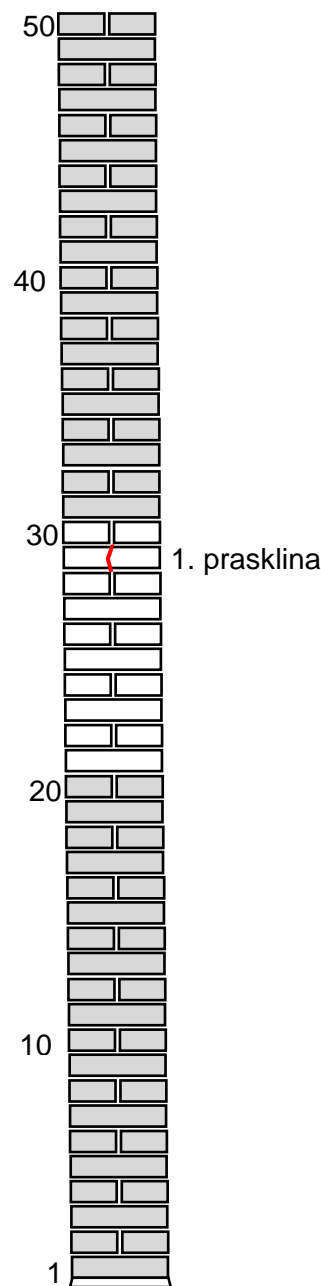
Během první etapy byl pilíř zatěžován postupně po krocích, viz obr. 8.30. Po dosažení předepsaného zatížení byla síla v každém kroku držena na konstantní hodnotě po dobu dvou minut. Po uplynutí této doby následovalo plynulé přitížení na další krok. Zatěžovací krok byl 500 kN do síly 1000 kN, 250 kN do síly 1500 kN a 100 kN do síly 2000 kN.



Obr. 8.30: Průběh zatěžování (experiment 01)



Obr. 8.31: Místo první praskliny (experiment 01)



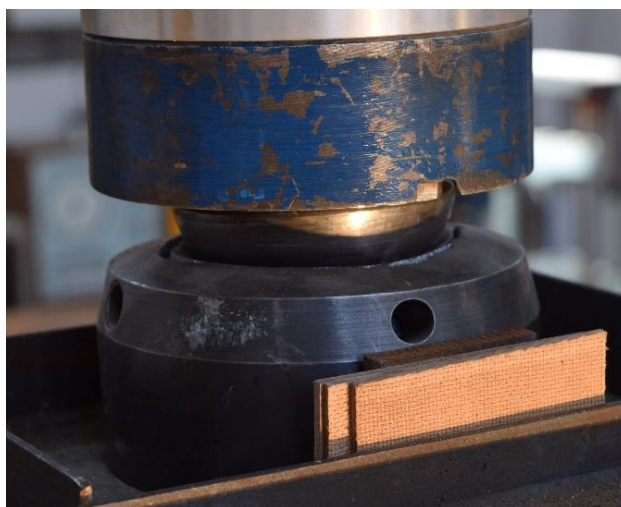
Obr. 8.32: Místo první praskliny (experiment 02)

Při síle 1325 kN byla zaznamenána první prasklina ve skleněné cihle, malta ve spárách zůstala neporušená. Místo vzniku první trhliny u experimentu 01 je znázorněno na obr. 8.31. Pro porovnání je na obr. 8.32 znázorněno místo vzniku první trhliny v případě experimentu 02. Při dosažení síly 1396 kN došlo k prolomení roznášecího válce kulovým kloubem, který byl umístěn mezi roznášecí desku a zatěžovací válec, viz obr. 8.33. Přestože byl tlačný válec nadále schopen přenášet zvyšující se zatížení, neplnil již dále funkci kulového kloubu a v hlavě sloupu tak vzniklo částečné vetknutí. Bylo proto rozhodnuto o přerušení zkoušky (při síle 1500 kN) a odtížení.

Po výměně kloubu a prohlédnutí celého pilíře vzhledem k tomu, že byla nalezena pouze jedna popraskaná cihla, malta byla neporušena, sloup byl celistvý bez dalšího

viditelného poškození, byla zkouška s upraveným roznášecím přípravkem opakována. Zatěžování zděného pilíře probíhalo stejným způsobem, tj. po krocích s konstantním držením síly po dobu 2 minut s tím rozdílem, že v prvním kroku bylo dosaženo rovnou síly 1500 kN. Zkouška byla ukončena při dosažení síly 2000 kN, tj. při dosažení maximálního rozsahu siloměru.

Při druhém pokusu bylo zaznamenáno další praskání ve skleněných cihlách při silách 1560, 1670 a 1940 kN. Praskliny měly vertikální směr a pravděpodobně vznikly vlivem příčného tahu vznikajícího rozdílným protahováním cihel a malty v příčném směru. Žádná z prasklin neměla vliv na ztrátu integrity cihel ani na celkovou stabilitu pilíře, viz obr. 8.34. Během zkoušky nebylo zaznamenáno porušení malty, ani nedošlo ke kolapsu zkušebního tělesa.

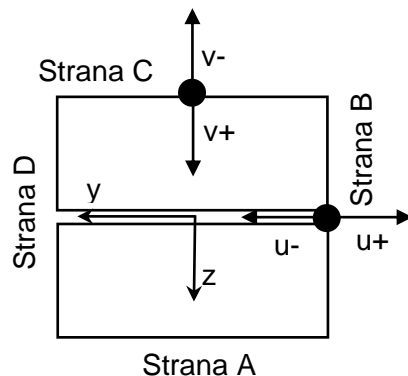


Obr. 8.33: Prolomený ocelový válec s kulovým ložiskem



Obr. 8.34: Prasklina způsobená tlakem

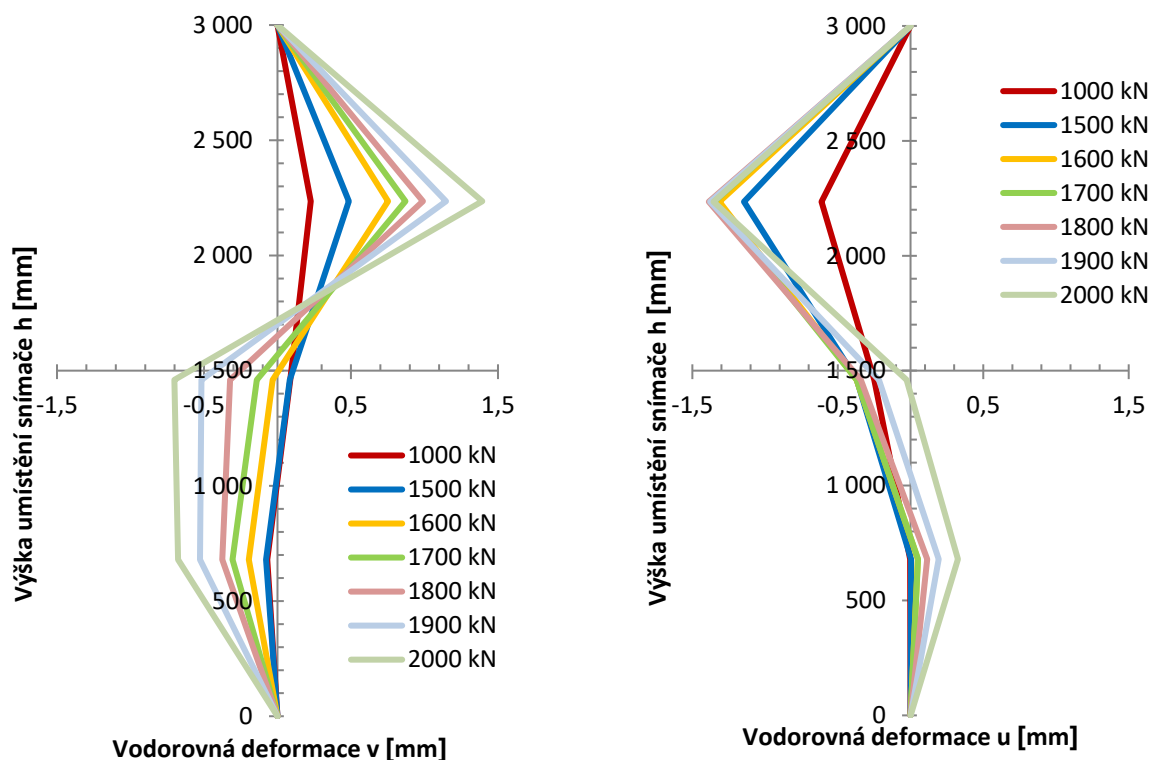
V průběhu experimentu byly zaznamenávány vodorovné deformace, svislá napětí a působící síla. Vodorovné deformace byly měřeny ve třech výškových úrovních pro dva na sebe kolmé směry, viz obr. 8.26. Znaménková konvence pro značení kladných a záporných hodnot je uvedena na obr. 8.35.



Obr. 8.35: Konvence pro značení deformací

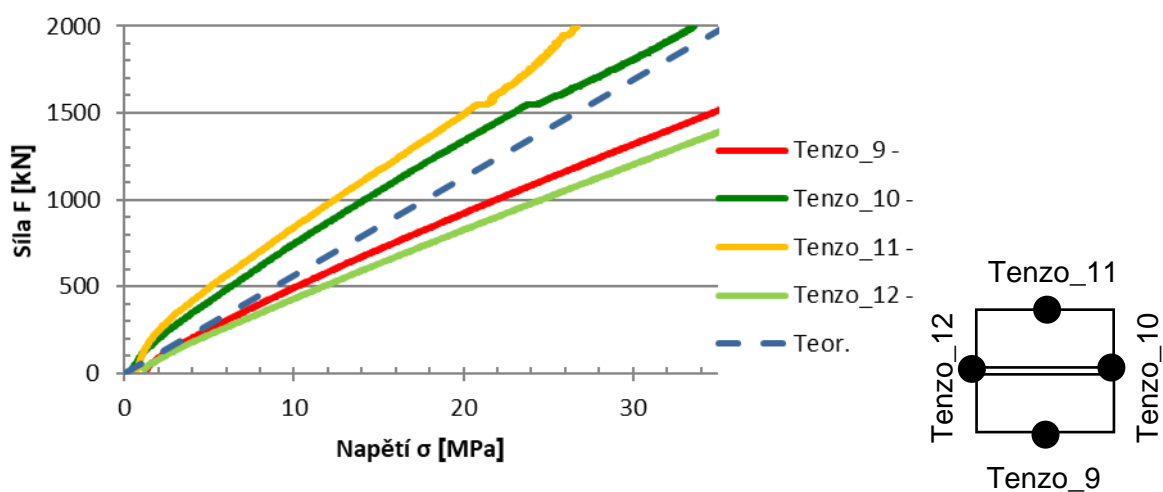
8.4.2 Vyhodnocení experimentu 01

Největší vodorovné deformace 1,39 mm bylo dosaženo ve směru osy z v horní třetině výšky na snímači č. P4. V témže místě ve druhém směru naměřil snímač č. P3 při stejné síle deformaci 1,35 mm. Výslednice těchto deformací tedy vychází 1,94 mm, což odpovídá přibližně 1/1530 výšky pilíře. S přihlédnutím k tomu, že při výpočtu únosnosti zděného pilíře podle normy ČSN EN 1996-1-1 [46] se uvažuje s počáteční výstředností 1/400 výšky, je možné naměřenou deformaci prohlásit za zanedbatelnou. Průběh deformace po výšce pilíře pro oba směry a pro jednotlivé úrovně zatížení je vykreslen na obr. 8.36.

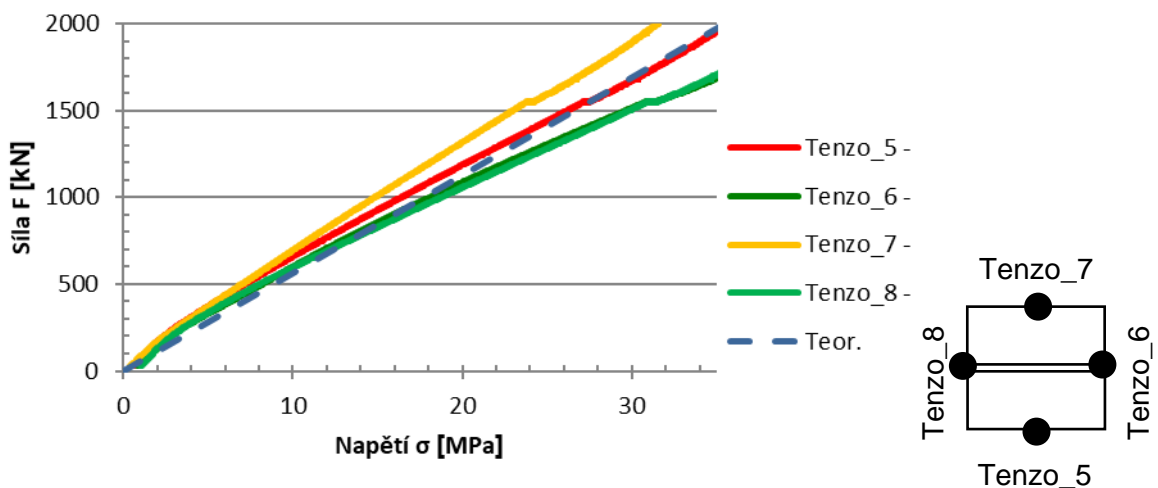


Obr. 8.36: Průběh deformace pilíře (experiment 01) po výšce ve směru osy y (vlevo) a ve směru osy z (vpravo)

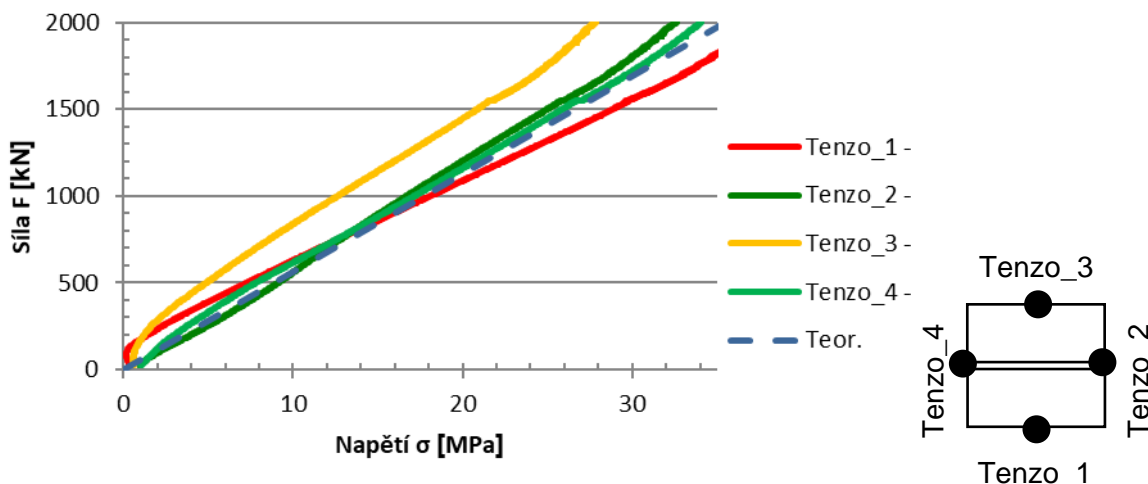
Dále bylo nepřímo pomocí tenzometrů měřeno napětí ve skleněných cihlách ve svislém směru. Napětí pro homogenní čtvercový průřez o rozměrech 240 x 240 mm lze vypočítat jako podíl působící síly ku průřezové ploše. V tomto případě se vypočtené napětí při maximální síle 2000 kN rovná 34,7 MPa. Naměřené hodnoty ze snímačů se od vypočteného napětí lišily v rozpětí od 3 % do 43 %. Modul pružnosti byl uvažován 70 GPa, což je modul pružnosti skla a nezohledňuje tak zdivo s maltou. Jak je patrné z grafu na obr. 8.37, pro tenzometry 9 a 11 tento předpoklad vyhovuje, neboť sklon obou napětí určených pomocí tenzometrů je shodný se sklonem vypočteným (na obr. kreslen čárkovně). Vzhledem k tomu, že jsou hodnoty z tenzometrů 9 a 11, které byly umístěny na protějších stranách, přibližně stejné, lze říci, že ve směru osy y bylo zatížení vnášeno bez excentricity. Oproti tomu na hodnotách z tenzometrů 10 a 12 je patrná odchylka, která naznačuje vliv ohybu ve směru osy z.



Obr. 8.37: Svislé tlakové napětí v horní čtvrtině pilíře (experiment 01)



Obr. 8.38: Svislé tlakové napětí uprostřed výšky (experiment 01)



Obr. 8.39: Svislé tlakové napětí ve spodní čtvrtině pilíře (experiment 01)

Z napětí uprostřed rozpětí, viz obr. 8.38 je zřejmé, že ve směru osy z (tenzometry 6 a 8) nedocházelo k deformaci pilíře, naopak ve směru osy y (tenzometry 5 a 7) je patrný rozdíl, naznačující ohyb. Pro výpočet napětí byl uvažován jednotný modul pružnosti – ve skutečnosti se bude lišit – jak dokazují ověřovací zkoušky (viz kap. 7.3) a zkoušky provedené firmou IKATES, [57].

Ve spodní části pilíře, (obr. 8.39) se opět projevil ohyb pouze ve směru osy y (tenzometry 1 a 3).

Z porovnání hodnot ze všech výškových úrovní vyplývá, že se pilíř deformoval ve tvaru sinusové vlny, neboť v horní části vybočoval ve směru osy z, kdežto uprostřed výšky a ve spodní třetině se ohýbal ve směru osy y.

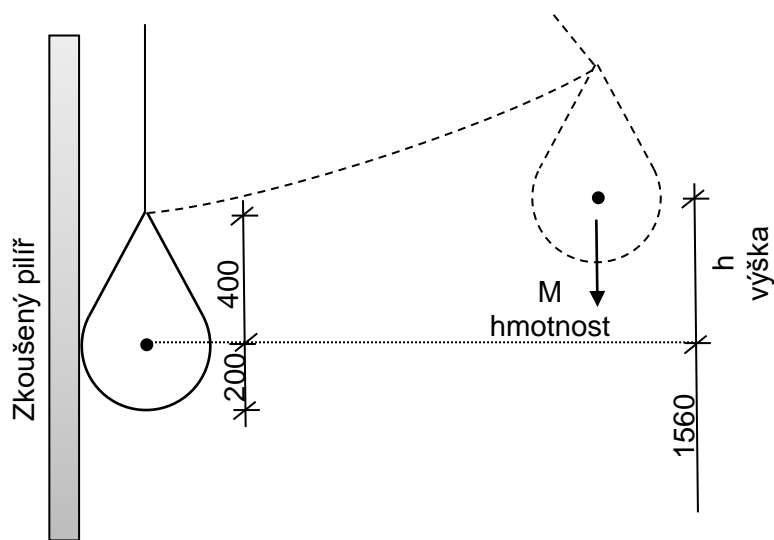
8.5 Ověření odolnosti zděného pilíře proti nárazu

V průběhu zkoušky centrickým tlakem došlo pouze k popraskání několika skleněných cihel, ale ke kolapsu zděného pilíře nedošlo. Zkušební těleso mohlo být následně využito pro zkoušky ověřující jeho odolnost na náraz měkkým nebo tvrdým předmětem.

8.5.1 Zatížení nárazem měkkým tělesem

Pro zkoušku nárazem měkkým tělesem, viz obr. 8.40, byl použit postup uvedený v normě ČSN 74 3305 [58], který simuluje pád lidského těla na konstrukční prvek ze skla. Byl použit plátěný vak o hmotnosti 50 kg plněný tvrzenými skleněnými kuličkami o průměru 3 mm. Místo nárazu vaku do sloupu bylo 1560 mm nad zemí, tedy přibližně v polovině výšky pilíře. Celkem bylo zkoušeno šest variant, viz tab. 8.1.

Jednotlivé varianty se od sebe lišily normálovou silou působící v pilíři a nárazovou energií vaku. Velikost nárazové energie je ovlivněna výškou pádu. Celkem byly zkoušeny dvě výšky pádu – 200 a 400 mm. Obě velikosti nárazové energie byly zkoušeny při třech hodnotách normálové síly – 200, 100 a 50 kN. Náraz byl veden na stranu D (ve směru osy z), viz obr. 8.35.



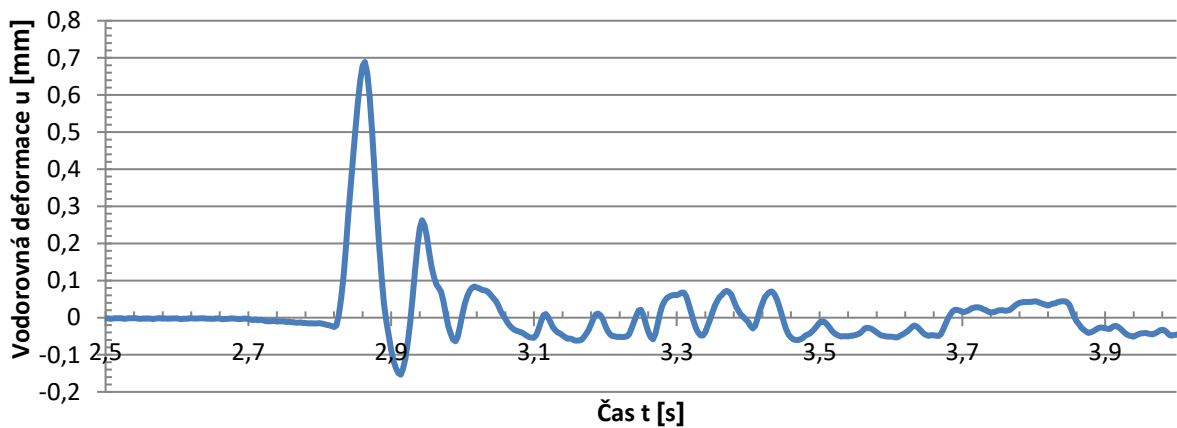
Obr. 8.40: Zatěžování nárazem měkkým tělesem

Tab. 8.1: Souhrn výsledků zkoušek nárazem měkkým předmětem

Zatěžovací těleso	Místo nárazu (od podlahy) [mm]	Normálová síla [kN]	Výška pádu h [mm]	Nárazová energie W [J]
Kožený vak	1560	200	200	98,07
			400	196,13
		100	200	98,07
			400	196,13
		50	200	98,07
			400	196,13

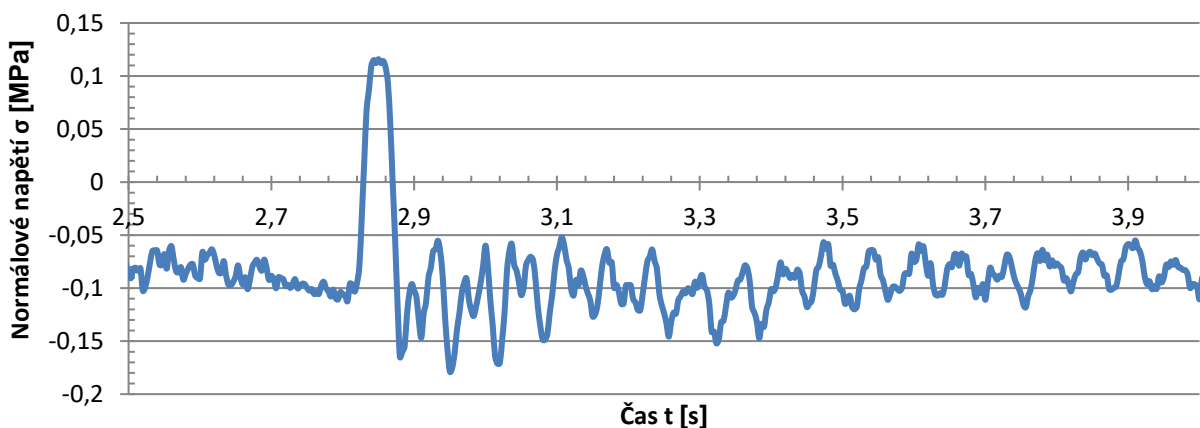
8.5.2 Vyhodnocení zkoušky nárazem měkkým tělesem

V žádném ze zatěžovacích stavů nárazem koženého vaku nedošlo k destrukci pilíře ani k lokálnímu porušení cihel či malty. Důsledkem nárazu bylo vždy rozkmitání zkušební tělesa, které následně odeznělo a konstrukce se vrátila do původního tvaru (viz obr. 8.41). Obdobně se napětí na zkušebním tělese zvýšilo pouze po dobu působení zatížení a následného dokmitávání konstrukce a poté se ustálilo na původní hodnotě. Maximální hodnota vodorovné deformace ve směru působící síly (ve směru osy z) byla 0,69 mm. Jedná se o hodnotu při zatížení normálovou silou o velikosti 50 kN a výšce nárazu 400 mm.



Obr. 8.41: Průběh vodorovné deformace ve směru nárazu (ve směru osy z) uprostřed výšky ($F = 50 \text{ kN}$, $h = 400 \text{ mm}$)

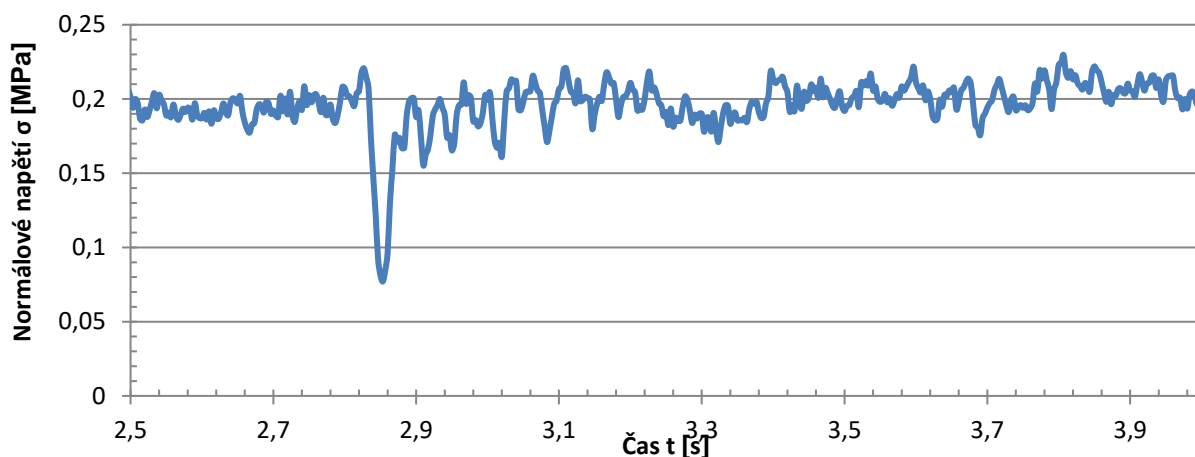
Za předpokladu, že náraz byl veden na stranu D ve směru osy z, měly by hodnoty z tenzometrů 4, 8 a 12 v okamžiku nárazu vykazovat tlak a hodnoty z tenzometrů 2, 6 a 10 tah. Náraz (při přitížení 50 kN a výšce nárazu 40 cm) vyvolal na tažené straně maximální změnu napětí přibližně 0,1 MPa, čímž se krátkodobě změnil způsob namáhání – z tlačného povrchu na tažený (viz obr. 8.42).



Obr. 8.42: Průběh svislého napětí na tenzometru 10 v horní čtvrtině ($F = 50 \text{ kN}$, $h = 400 \text{ mm}$)

Největší změna napětí nastala v místě nárazu, tedy na tenzometru 8, kde nárůst tlakového napětí činil přibližně 0,5 MPa (viz obr. 8.43).

Souhrn výsledků pro náraz měkkým tělesem je uveden v tab. 8.2.



Obr. 8.43: Průběh svislého napětí na tenzometru 6 uprostřed výšky ($F = 50 \text{ kN}$, $h = 400 \text{ mm}$)

Tab. 8.2: Výsledky nárazových zkoušek

Zat. těleso	Místo nárazu (od podlahy) [mm]	Norm. síla [kN]	Výška pádu h [mm]	Deformace [mm]		Napětí [MPa]		
				δ_+	δ_-	Na tažené straně σ_+	Na tlačené straně σ_-	
				δ_{tot}		$\Delta\sigma_+$	$\Delta\sigma_-$	
Kožený vak	1560	200	200	0,16	0,06	-0,03	-2,02	
				0,22		0,27	-1,35	
			400	0,36	0,09	0,05	-2,15	
				0,46		0,42	-1,78	
			100	200	0,24	0,05	0,33	-1,14
					0,29		0,20	-1,29
		400		0,50	0,19	0,42	-1,21	
				0,69		0,31	-1,35	
		50	200	0,51	0,08	0,23	-0,76	
				0,59		0,17	-0,95	
			400	0,82	0,38	0,23	-0,92	
				1,20		0,22	-1,02	

Pozn.: Kladná deformace δ_+ představuje maximální výkmit ve směru nárazu, záporná deformace δ_- odpovídá maximálnímu výkmitu ve směru proti působící síle. Celková deformace δ_{tot} představuje rozkmit konstrukce (součet kladného a záporného výkmitu).
 Napětí je značeno v souladu s obvyklou konvencí – kladné hodnoty představují tah, záporné tlak. Hodnoty σ_+ a σ_- představují špičky napětí vypočtené z dat naměřených tenzometry v okamžiku nárazu. Hodnoty $\Delta\sigma_+$ a $\Delta\sigma_-$ představují změnu napětí vyvolanou nárazem.

8.5.3 Zatížení nárazem tvrdým tělesem

Ke zkoušce nárazem tvrdým tělesem byla použita ocelová koule o hmotnosti 50 kg. Celkem bylo provedeno osm nárazů, viz tab. 8.3. Schéma zatěžování bylo obdobné jako v případě zkoušky nárazem měkkým tělesem. Jednotlivé varianty se, stejně jako v předchozím případě, lišily nárazovou energií a tlakovým zatížením, které bylo

do zděného pilíře vneseno. Zkoušky nárazem tvrdým tělesem byly provedeny při dvou hodnotách normálové síly – 200 kN a 50 kN. Některé varianty se lišily působištěm nárazu. S ohledem na lokální porušení skleněných cihel v místě dopadu ocelové koule, bylo po prvních nárazech toto místo změněno z výšky 1525 mm na výšku 1620 mm, měřeno od paty sloupu. Celkem byly zkoušeny čtyři výšky pádu – 200, 400, 600 a 800 mm. Náraz byl veden na stranu D (ve směru osy z). Souhrn zkoušek nárazem ocelovou koulí je uveden v tab. 8.3.

Tab. 8.3: Souhrn zkoušek nárazem tvrdým předmětem

Zatěžovací těleso	Místo nárazu (od podlahy) [mm]	Normálová síla [kN]	Výška pádu h [mm]	Nárazová energie W [J]
Ocelová koule	1525	200	200	98,07
			400	196,13
			600	294,20
	1620	200	600	294,20
			800	392,27
		50	200	98,07
			400	196,13
			600	294,20

Během zatěžování nárazem ocelovou koulí nedošlo ke ztrátě stability pilíře. Objevilo se pouze lokální porušení v místě nárazu koule (obr. 8.44). Nejprve byl pilíř zkoušen pod zatížením 200 kN a náraz směřoval do výšky 1525 mm od paty pilíře. Koule byla pouštěna z výšky 200, 400 a 600 mm. Vzhledem k tomu, že cihla v místě působení byla po třech nárazech již výrazně poškozena (viz obr. 8.45), bylo rozhodnuto o posunutí působiště síly do výšky 1620 mm. V této výšce byly provedeny další dva nárazy – z výšky 600 a 800 mm. I v tomto případě nastalo pouze lokální poškození cihly (viz obr. 8.46). V závěrečné fázi experimentu bylo sníženo zatížení na 50 kN a byly provedeny další tři nárazy z výšky 200, 400 a 600 mm. Místo dopadu koule zůstalo stejné jako v předchozím případě (1620 mm od paty pilíře). Ani v případě nejnižšího zatížení pilíře a nejvyšší nárazové energie nedošlo k destrukci pilíře.



Obr. 8.44: Lokální porušení skleněné cihly v místě nárazu ocelové koule po druhém nárazu



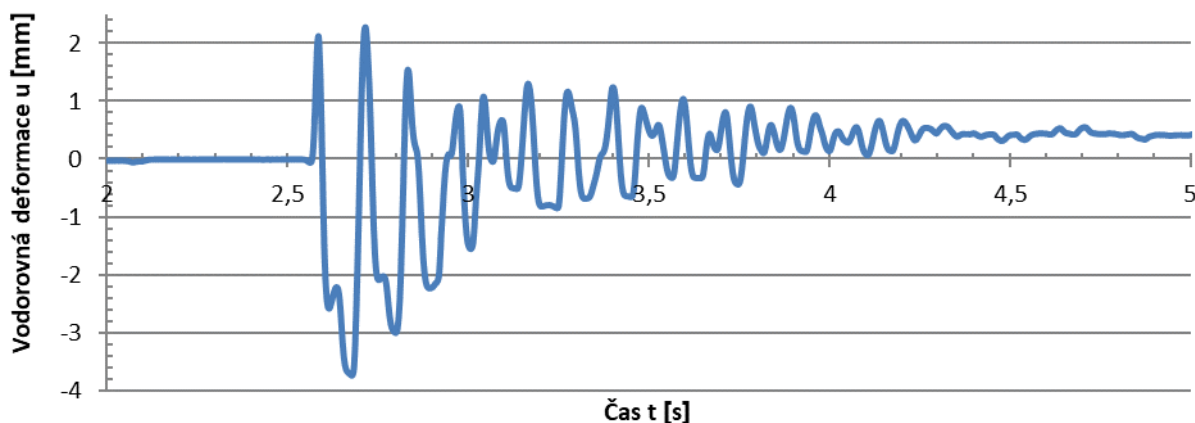
Obr. 8.45: Porušení cihly ve výšce 1525 mm po třech nárazech



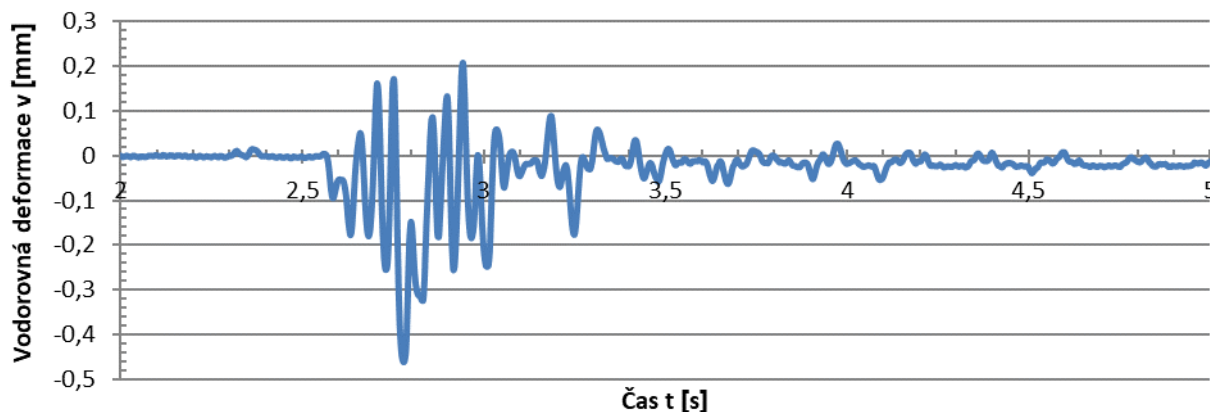
Obr. 8.46: Porušení cihly ve výšce 1620 mm po prvním nárazu

8.5.4 Vyhodnocení zkoušky nárazem tvrdým tělesem

Stejně jako v případě zkoušky nárazem měkkým tělesem bylo důsledkem nárazu rozkmitání konstrukce, které následně odeznělo a konstrukce se vrátila do původního tvaru (viz obr. 8.47 a obr. 8.48). Rozdíl mezi deformací před nárazem a po nárazu, který je patrný na obr. 8.47 je s největší pravděpodobností způsoben prokluzem ocelové lanky po kladce snímače. Maximální deformace byla naměřena uprostřed výšky pilíře při zatížení normálovou silou 50 kN při výšce pádu koule 600 mm a činila + 2,3 a – 3,7 mm. Celkový rozkmit konstrukce v důsledku nárazu ocelové koule byl tedy 6 mm.



Obr. 8.47: Průběh vodorovné deformace ve směru nárazu (ve směru osy z) uprostřed výšky ($F = 50 \text{ kN}$, $h = 600 \text{ mm}$)

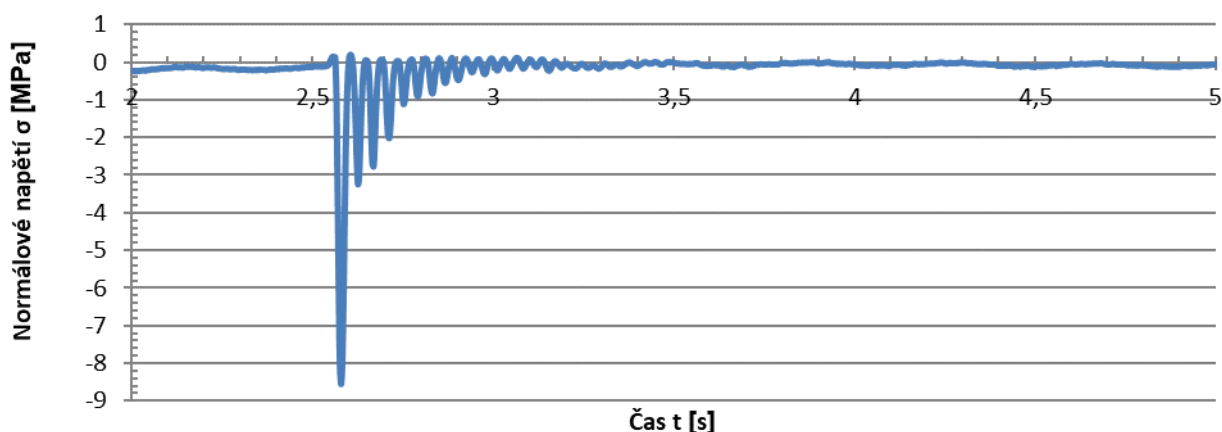


Obr. 8.48: Průběh vodorovné deformace ve směru kladné osy y uprostřed výšky ($F = 50 \text{ kN}$, $h = 600 \text{ mm}$)

Obdobně napětí na konstrukci se zvýšilo pouze po dobu působení zatížení a následného dokmitávání konstrukce a poté se ustálilo na původní hodnotě. Náraz byl veden na stranu D, hodnoty z tenzometrů 4, 8 a 12 v okamžiku nárazu měly vykazovat přírůstek tlakového napětí a hodnoty z tenzometrů 2, 6 a 10 jeho pokles, případně přechod do tahového napětí. Při překročení tahové pevnosti zdiva zjištěné při předchozích experimentech (viz kap. 7.2) je možné předpokládat otevření praskliny mezi sklem a maltou. Při experimentu však nebyly vodorovné trhliny mezi sklem a maltou pozorovány. Napětí jsou značena v souladu s obvyklou konvencí – kladné hodnoty představují tah a záporné tlak.

Největší změna napětí nastala v místě nárazu, tedy na tenzometru 8, kde nárůst tlakového napětí činil přibližně 6,4 MPa (viz obr. 8.49).

Souhrn výsledků pro zkoušku nárazem ocelovou koulí je uveden v tab. 8.4.



Obr. 8.49: Průběh svislého napětí na tenzometru 8 ($F = 50 \text{ kN}$, $h = 600 \text{ mm}$)

Tab. 8.4: Výsledky nárazových zkoušek

Zat. těleso	Místo nárazu (od podlahy) [mm]	Norm. síla [kN]	Výška pádu h [mm]	Deformace [mm]		Napětí [MPa]	
				δ_+	δ_-	Na tažené straně σ_+	Na tlačené straně σ_-
				δ_{tot}		$\Delta\sigma_+$	$\Delta\sigma_-$
Ocelová koule	1525	200	200	1,01	1,43	0,28	-4,49
				2,44		0,60	-2,38
			400	1,15	1,99	0,45	-6,33
				3,14		0,57	-4,15
			600	0,32	3,09	0,22	-2,16
				3,41		0,32	-2,29
	1620	200	600	3,15	0,04	0,49	-2,63
				3,18		0,46	-2,16
			800	0,90	-2,85	0,52	-8,46
				3,75		0,61	-6,25
		50	200	1,27	2,02	0,30	-3,73
				3,29		0,21	-3,51
			400	1,93	3,32	0,35	-7,33
				5,25		0,25	-7,15
600	2,27	3,74	0,35	-8,54			
	6,01		0,30	-8,37			

Pozn.: Kladná deformace δ_+ představuje maximální výkmit ve směru nárazu, záporná deformace δ_- odpovídá maximálnímu výkmitu ve směru proti působící síle. Celková deformace δ_{tot} představuje rozkmit konstrukce (součet kladného a záporného výkmitu).

Napětí je značeno v souladu s obvyklou konvencí – kladné hodnoty představují tah, záporné tlak. Hodnoty σ_+ a σ_- představují špičky napětí vypočtené z dat naměřených tenzometry v okamžiku nárazu. Hodnoty $\Delta\sigma_+$ a $\Delta\sigma_-$ představují změnu napětí vyvolanou nárazem.

8.6 Destruktivní zkouška zděného pilíře výšky 1,2 m

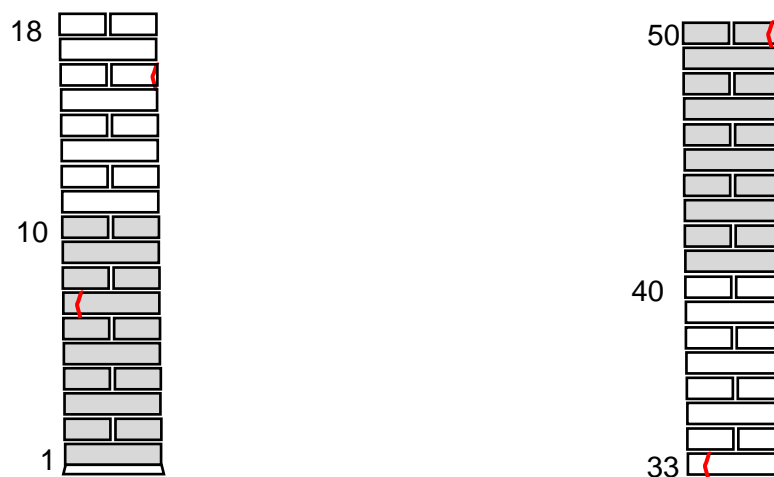
Vzhledem k tomu, že nedošlo ke kolapsu zděného pilíře ani vlivem nárazu ocelové koule, bylo zkušební těleso (zděný pilíř) rozděleno na dvě části, které byly opět zatíženy centrickým tlakem v zařízení umožňujícím dosažení větší tlakové síly.

8.6.1 Zkušební tělesa

Pilíř byl rozdělen tak, že vznikly dvě části, každá z nich tvořená osmnácti vrstvami cihel a vysoká 1,2 m. Jednalo se o vrstvy č. 1 - 18 a 33 - 50 původního pilíře (zkušební těleso připravené pro experiment 01). Obě tělesa obsahovala praskliny, typická prasklina je znázorněna na obr. 8.50. Schéma prasklin v obou zkušebních tělesech, která vznikla ze zděného pilíře experimentu 01, jsou znázorněna na obr. 8.51.



Obr. 8.50: Charakteristická prasklina



Obr. 8.51: Schéma prasklin v pilířích (dvě zkušební tělesa vyrobená z pilíře experimentu 01) použitých při destruktivní zkoušce

8.6.2 Průběh a vyhodnocení experimentu

Zkušební tělesa byla zatěžována na zkušebním zařízení schopném vyvinout maximální sílu 4000 kN. Zatěžování probíhalo rovnoměrně konstantní rychlostí posunem příčnicku stroje 5 mm/min. Během zkoušky byla měřena působící síla.

K prvnímu porušení zkušební tělesa č. 1 (vrstvy č. 1 - 18) došlo obdobně jako v případě třímetrového pilíře vznikem svislé praskliny v cihle. První prasklina vznikla při síle 2000 kN. Při síle 2500 kN došlo k výraznému rozvoji prasklin, zkušební těleso bylo však i nadále schopno přenášet zvyšující se zatížení. S nárůstem síly ale začalo docházet k rozpadu cihel a odpadávání až odlétávání střeptů. Maximální síla, které bylo dosaženo, byla 2760 kN, poté nastal pokles síly a následně byla zkouška ukončena. Na obr. 8.52 je vyobrazeno těleso po zkoušce.

V případě zkušební tělesa č. 2 (vrstvy č. 33 - 50) byly naměřeny výrazně nižší síly – maximální hodnota činila 1750 kN. Na obr. 8.53 je znázorněno těleso po zkoušce.

Vzhledem k tomu, že se jednalo o zbytky pilíře z experimentu 01, viz kap. 8.4, které již nesly známky poškození (viz obr. 8.50 a schémata na obr. 8.51), není možné považovat tyto výsledky za příliš relevantní, to dokazuje i velký rozdíl ve výsledcích zkušebních těles č. 1 a č. 2.

Nejvýznamnější porušení obou zkoušených těles nastalo v patě a v hlavě pilíře, pravděpodobně se jednalo o důsledek malé tloušťky roznášecí sádrové vrstvy a možnému vzniku koncentrovaného napětí pod roznášecí ocelovou deskou.



Obr. 8.52: Zkušební těleso č.1 (vrstvy č. 1 - 18) po zkoušce



Obr. 8.53: Zkušební těleso č. 2 (vrstvy č. 33 - 50) po zkoušce

8.7 Zděný pilíř zatížený excentrickým tlakem – experiment 02

V průběhu experimentu 01, kdy byl zděný pilíř zatěžován centrickou tlakovou silou, nedošlo k jeho kolapsu ani při síle 2000 kN, která byla maximální pro použité zkušební zařízení. Ani zkouška nárazem měkkým a tvrdým tělesem neznamenal kolaps pilíře. Na základě získaných výsledků bylo druhé zkušební těleso (experiment 02), zděný pilíř o výšce 3 m, zatěžováno excentricky působící tlakovou silou.

8.7.1 Zatížení excentrickým tlakem

Excentricita byla v první etapě zvolena jako $b/6$ (tj. 80 mm), vlivem nepřesného umístění tlačného válce byla výsledná excentricita při experimentu 73 mm ve směru záporné poloosy y , resp. působíště zatížení bylo ve vzdálenosti 73 mm od svislé osy pilíře, viz obr. 8.54. Při tomto uspořádání došlo při síle 400 kN k porušení dvou cihel v nejvyšší vrstvě pod působící silou (obr. 8.56). Toto porušení bylo způsobeno lokálním překročením tlakové pevnosti cihel. Vzniklé praskliny nezpůsobily destrukci pilíře. Příčinou prasklin byla velká excentricita, při které vzniklo velké tlakové napětí na malé ploše, což vedlo k odpovídajícímu příčnému tahu. Zkouška byla přerušena při dosažení

síly 600 kN. Vzhledem k tomu, že ve zbylé části pilíře nebyly zaznamenány další praskliny, bylo rozhodnuto o odstranění prvních dvou vrstev cihel a pokračování v zatěžování s menší excentricitou. Ve druhé etapě se excentricita zmenšila na polovinu (40 mm) a působící síla se tak posunula na hranici jádra průřezu.

Poškozené cihly byly odstraněny – byly odebrány dvě horní vrstvy skleněných cihel a ve druhé etapě před opětovným zatížením byla zmenšena excentricita působící síly. Dvě vrstvy cihel byly odebrány proto, aby byl zachován stejný způsob zatěžování hlavy sloupu, tedy aby styčná spára horní vrstvy ležela ve směru excentricity a zatížení bylo vnášeno do obou cihel v horní vrstvě. Maltová vrstva pod odebranou vrstvou byla ponechána, zarovnána a na ni byla do sádrového lože osazena ocelová deska. Vzhledem ke snížení výšky pilíře bylo nutno doplnit mezi ocelovou desku a roznášecí ocelový válec ještě další ocelový válec, viz obr. 8.55. Výsledná excentricita 40 mm od svislé osy pilíře byla zavedena ve stejném směru jako v prvním kroku. Zkouška byla řízena silou. Síla byla vnášena rychlostí 100 kN/min po krocích, mezi kterými byla vždy přestávka 2 minuty, při které byla udržována konstantní síla (viz obr. 8.57).



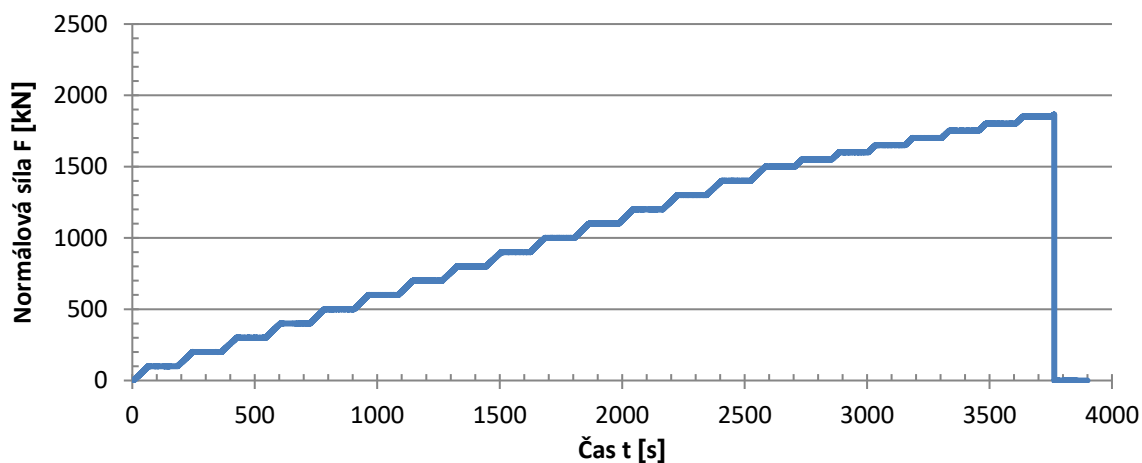
Obr. 8.54: Excentricita působící síly
($e=73$ mm, etapa 1)



Obr. 8.55: Excentricita působící síly
($e=40$ mm, etapa 2)



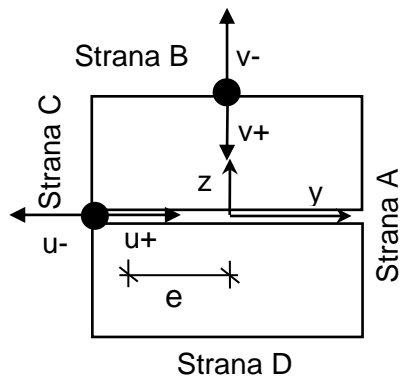
Obr. 8.56: Poškození dvou horních cihel



Obr. 8.57: Průběh zatěžování

8.7.2 Vyhodnocení experimentu 02 – zatížení excentrickým tlakem v etapě č. 1 (při excentricitě 73 mm)

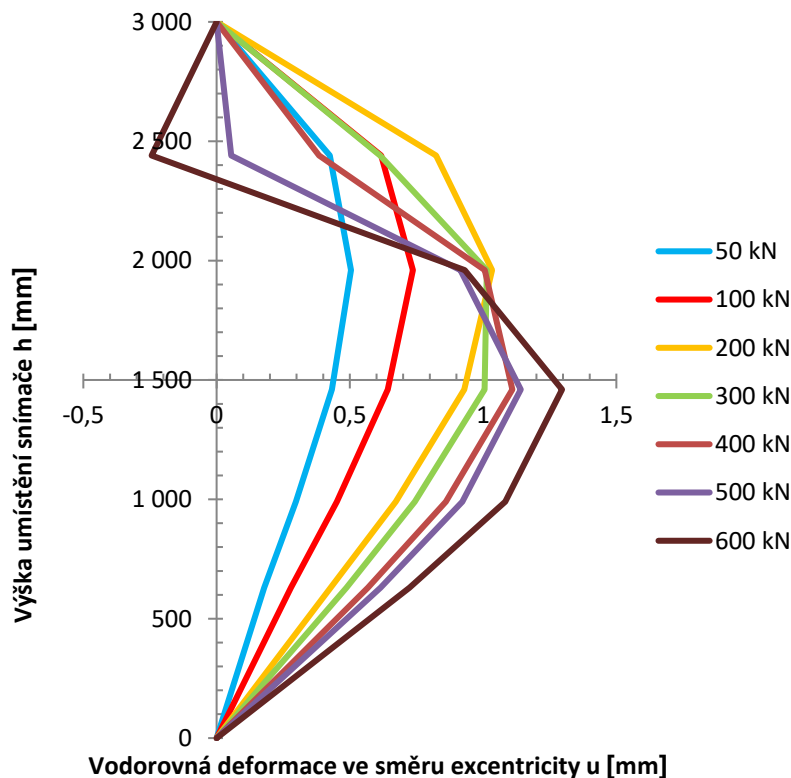
V rámci experimentu byly měřeny vodorovné deformace v rovině vnesené excentricity v pěti výškových úrovních, ve směru kolmém na vnesenou excentricitu (z roviny) byl osazen pouze jeden snímač uprostřed, viz kap. 8.2.1 obr. 8.26. Konvence značení deformací je zřejmá z obr. 8.58.



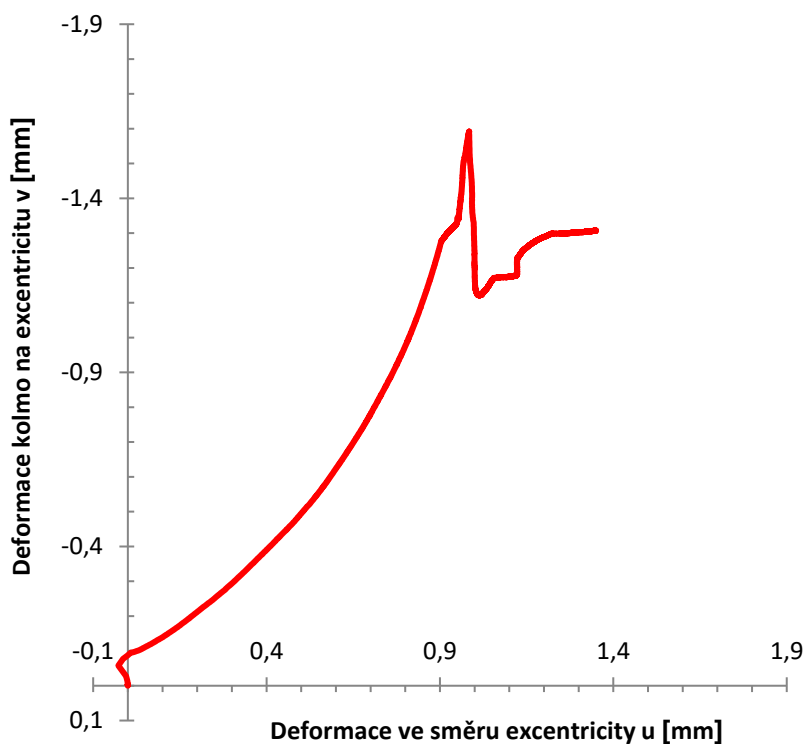
Obr. 8.58: Konvence pro značení deformací

Největší vodorovné deformace ve směru osy y , 1,34 mm bylo dosaženo ve výškové úrovni 1,46 m nad podlahou na snímači č. P3 při síle 600 kN. Z roviny byla naměřena největší hodnota vodorovné deformace 1,59 mm při síle 250 kN, při maximální síle (600 kN) byla deformace z roviny rovna 1,30 mm. Na obr. 8.59 je znázorněn vývoj deformace v rovině v průběhu zatěžování. Z výsledků je zřejmé, že zpočátku se pilíř deformoval rovnoměrně ve směru kladné poloosy y , ale při zvyšování zatížení se horní část začala vychýlovat na opačnou stranu.

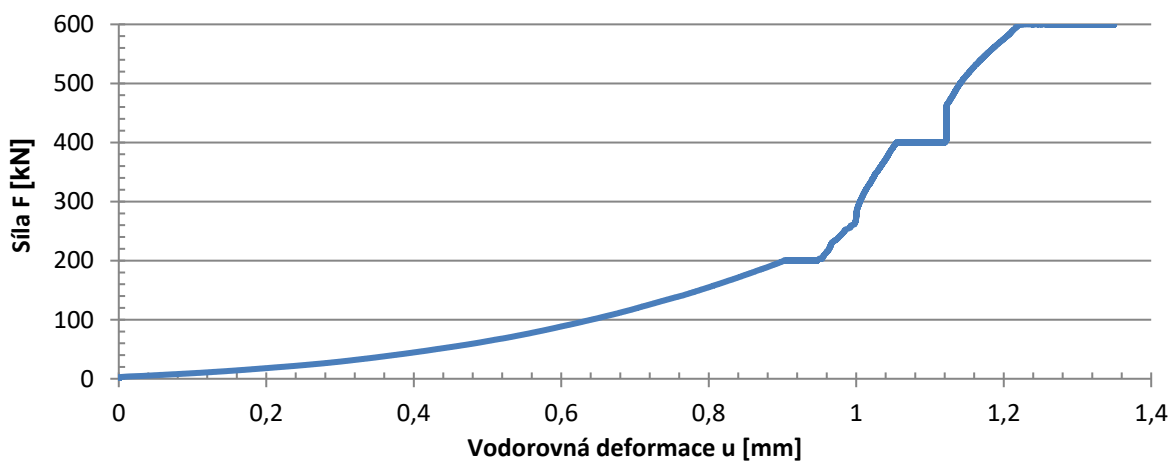
Na základě dat ze snímačů dráhy č. 3 a č. 6, umístěných uprostřed výšky pilíře a měřících deformace ve dvou na sebe kolmých směrech, je možné usuzovat, že se pilíř nedeformoval pouze v rovině působící excentricity, ale také z roviny. Tento jev je dobře patrný z obr. 8.60.



Obr. 8.59: Deformace po výšce při prvním zatěžování

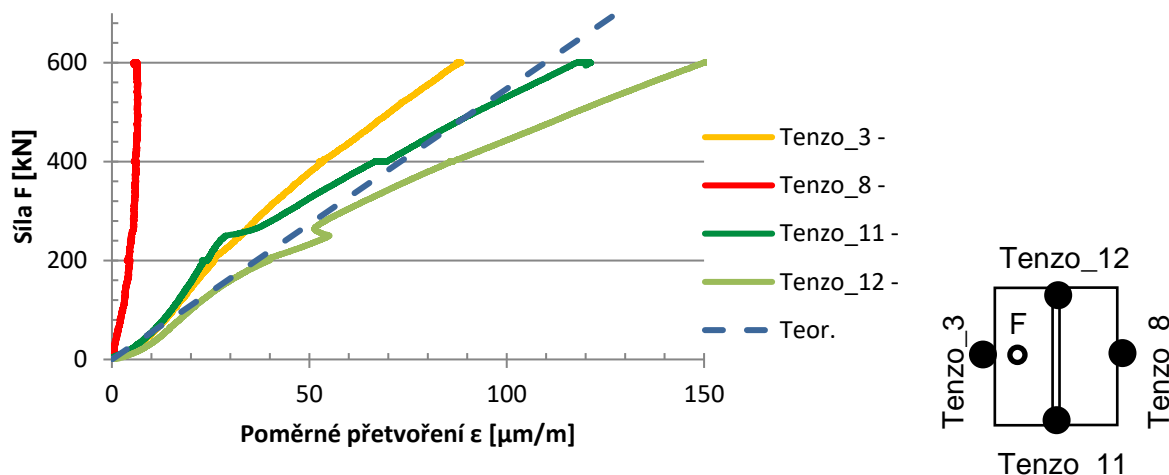


Obr. 8.60: Deformace pilíře při etapě č. 1



Obr. 8.61: Závislost deformace uprostřed pilíře v rovině excentricity na síle

Obr. 8.61 zobrazuje závislost deformace pilíře ve směru působící excentricity na působící síle v průběhu experimentu 02.



Obr. 8.62: Průběh svislého poměrného přetvoření uprostřed výšky

Na obr. 8.62 je tento vliv patrný z velkého rozdílu sklonu poměrných přetvoření z protilehlých tenzometrů 3 a 8. Tenzometry 8, 6 a 7, které byly umístěny na tažené straně pilíře, vykazují stejný průběh závislosti síla-poměrné přetvoření, který je zcela odlišný od průběhu na tlačené straně průřezu. Tento rozdíl je možné přičítat rozevírání ložných spár (resp. odlepení malty od skla), které však během experimentu nebylo měřeno. Otevírání spár by mělo za následek pokles tahového napětí ve skleněných cihlách, na kterých byly připevněny zmíněné tenzometry a tím i odlišný průběh křivky závislosti poměrného přetvoření na působící síle. Stejně jako při vyhodnocení zkoušky prostým tlakem je i v tomto grafu čárkovaně naznačeno vypočtené teoretické poměrné přetvoření za předpokladu homogenního čtvercového průřezu 240 x 240 mm.

8.7.3 Vyhodnocení experimentu 02 – zatížení excentrickým tlakem v etapě č. 2 (při excentricitě 40 mm)

Ve druhé etapě, tj. při druhém zatěžování s menší excentricitou, se první prasklina vyskytla při síle 1450 kN. Oproti předchozím experimentům tato prasklina vykazovala jiný charakter, viz obr. 8.63. Nedošlo ke vzniku praskliny přes celou výšku cihly, ale pouze k lokálnímu porušení při jejím spodním okraji. Toto porušení může být způsobeno nečistotou v mikrostruktuře skla, která vznikla při výrobě cihly. Obdobný způsob porušení se vyskytl i při síle 1600 kN. Naopak porušení typické pro předchozí experimenty bylo zaznamenáno při síle 1650 kN (obr. 8.64).



Obr. 8.63: Charakter porušení zaznamenaný při druhém zatěžování

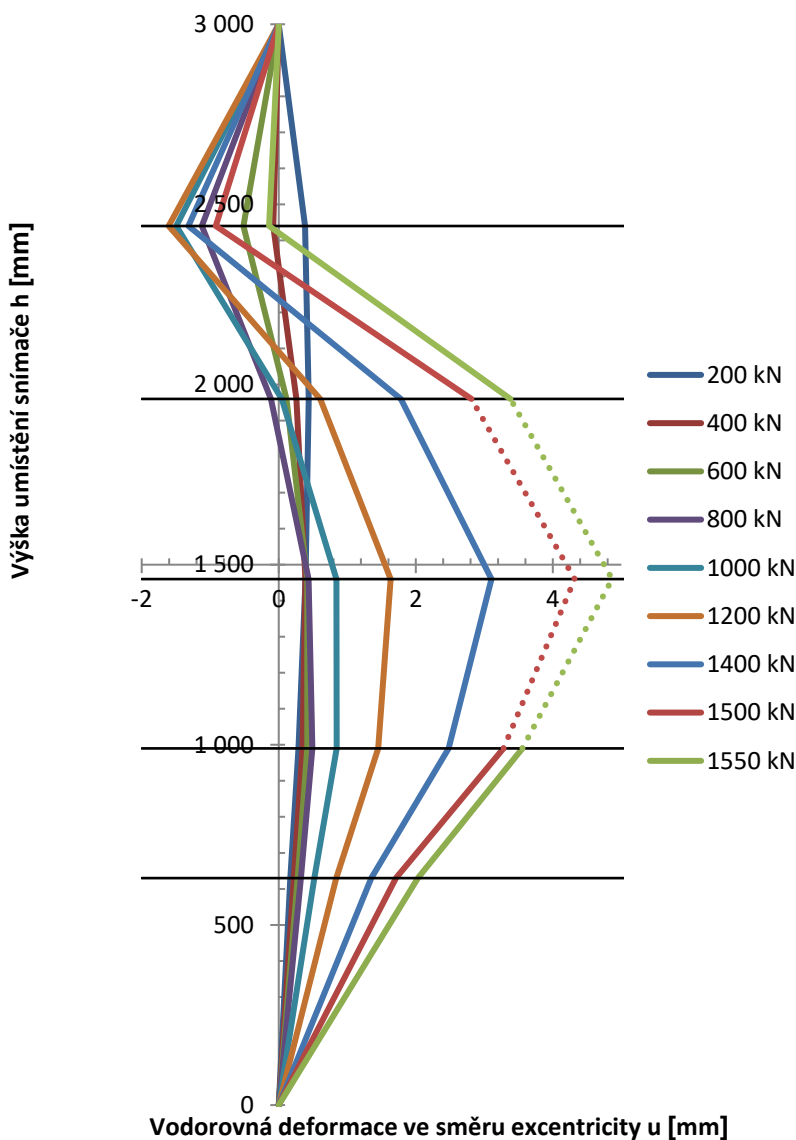


Obr. 8.64: Typická prasklina

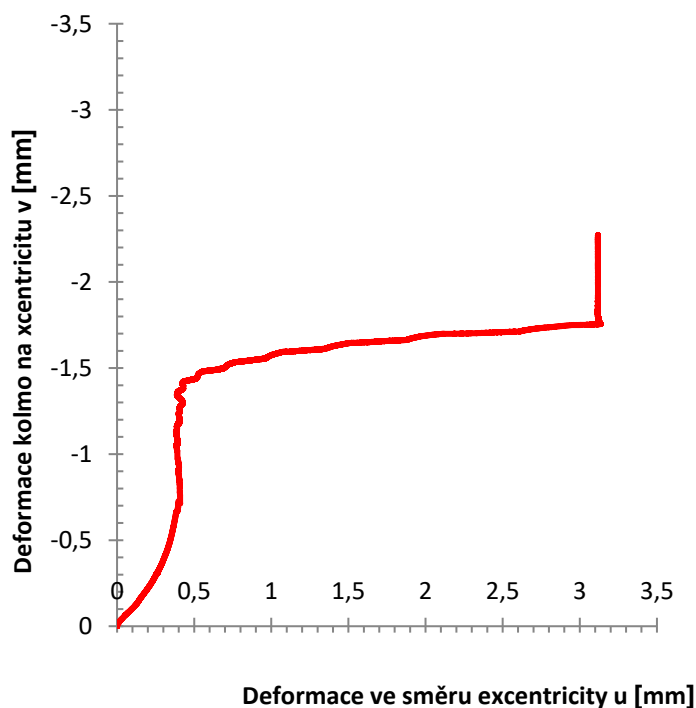
Pilíř byl ve druhé etapě zatěžován do porušení, které nastalo při síle 1864 kN. Se zvyšujícím zatížením narůstala deformace pilíře a zvyšovalo se tlakové napětí na tlačené straně. Po překročení tlakové pevnosti cihel došlo k jejich drcení přibližně uprostřed výšky pilíře, čímž se ještě více zvětšila deformace, což mělo za následek vytvoření kloubu v úrovni třicáté vrstvy a destrukci pilíře.

Při síle 1400 kN bylo dosaženo kapacity prostředního snímače dráhy (P3) a ten od tohoto momentu již dále neměřil. Obdobně snímače P2 a P4 dosáhly své kapacity při síle přibližně 1500 kN. Graf na obr. 8.65 znázorňuje průběh deformace pilíře po výšce. Hodnoty ze snímačů P2 až P4 pro síly přesahující 1400 kN (resp. 1500 kN), kdy byly snímače mimo rozsah, byly dopočítány lineární interpolací podle předchozích hodnot. Na obr. 8.65 jsou vypočtené části křivek znázorněny tečkovaně. Z grafu je zřejmé, že pilíř v začátku zatěžování vybočoval ve směru taženého povrchu a v průběhu zatěžování se jeho horní část začala deformovat opačným směrem. Maximální deformace pilíře byla naměřena, v souladu s očekáváním, uprostřed výšky pilíře.

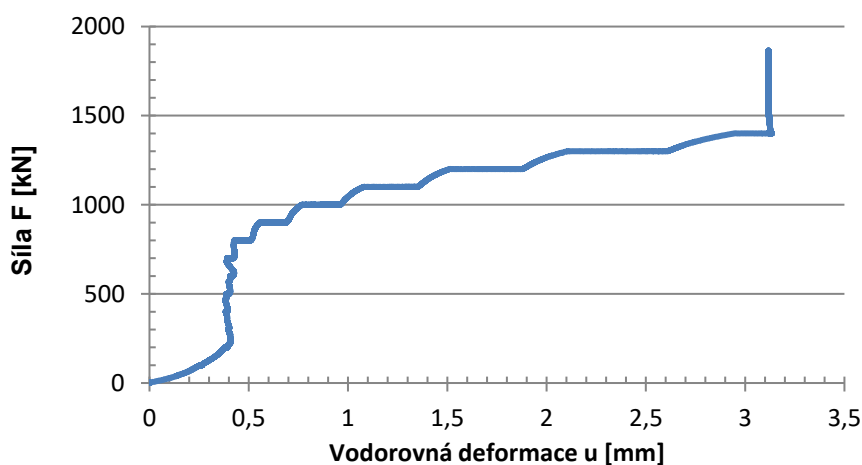
Stejně jako v etapě č. 1 se projevil účinek prostorového vybočení, viz obr. 8.66, kde je na vodorovné ose vynesena vodorovná deformace ve směru excentricity zatížení a na svislé ose je vynesena vodorovná deformace ve směru kolmém na excentricitu. Závislost vodorovné deformace ve směru excentricity je patrná z obr. 8.67.



Obr. 8.65: Vodorovná deformace pilíře ve směru excentricity zatížení

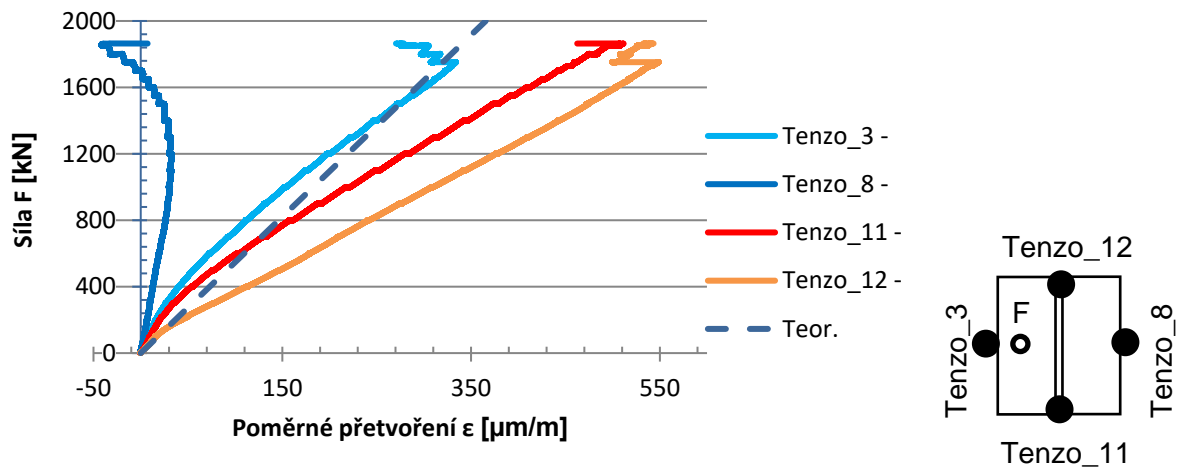


Obr. 8.66: Deformace pilíře při etapě č. 2

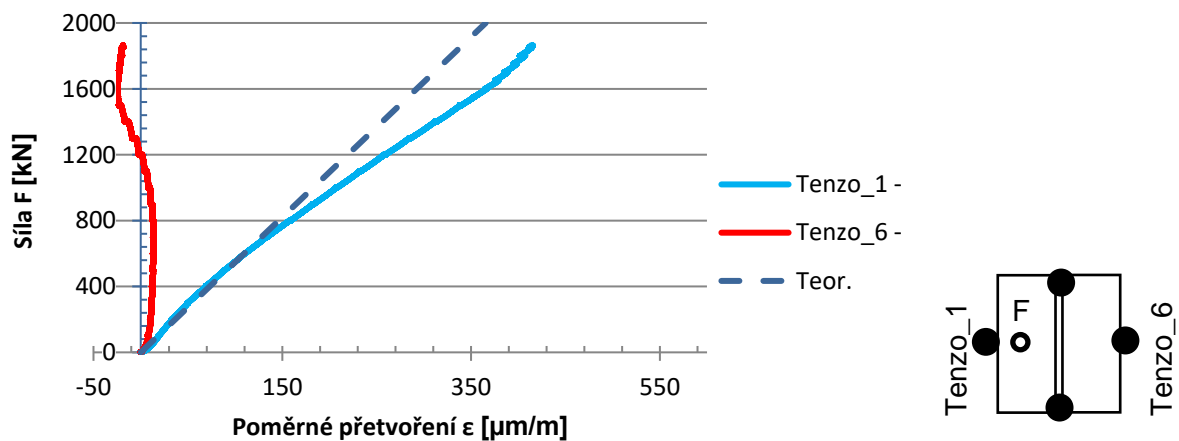


Obr. 8.67: Závislost deformace uprostřed pilíře v rovině excentricity na síle

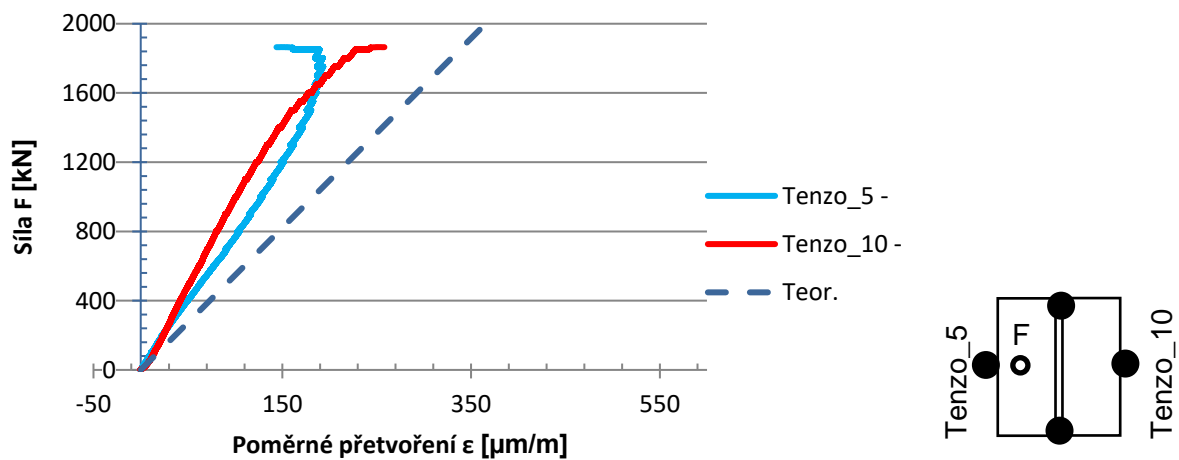
Stejně jako v etapě č. 1 byl i v etapě č. 2 naměřen výrazně odlišný průběh dat z tenzometru 8, 6 a 7 viz obr. 8.68 a obr. 8.69, kde je znázorněna závislost síly na napětí uprostřed výšky v porovnání se závislostí síly na napětí ve výškové úrovni 2440 mm nad podlahou. Stejně jako na předchozích grafech, je čárkovane vyznačen teoretický průběh napětí vypočtený pro ideální homogenní průřez. Porovnáním grafů na obr. 8.69 a obr. 8.70 je možné dospět k závěru, že horní část pilíře byla ohýbána, kdežto spodní část pilíře byla namáhána spíše centrickým tlakem. V tomto případě jde o porovnání závislosti poměrného pretvoření na síle ve výškové úrovni 2440 mm (obr. 8.69) a v úrovni 630 mm nad podlahou (obr. 8.70).



Obr. 8.68: Průběh poměrných přetvoření uprostřed výšky



Obr. 8.69: Průběh poměrných přetvoření ve výškové úrovni 2440 mm nad podlahou






Obr. 8.70: Průběh poměrných přetvoření ve výškové úrovni 630 mm nad podlahou

9 NUMERICKÝ MODEL A PARAMETRICKÁ STUDIE

9.1 Popis modelu

Tab. 9.1: Souhrn použitých modelů

Číslo modelu	Tvar modelu	Výstřednost e [-]	Výška h [m]
1	 240 x 240 mm	0	3
2		dle exp.	3
3		h / 450	1,5
4			2,5
5			3
6			3,5
7			4
8			5
9			6
10	 240 x 363 mm	0	3
11		h / 450	1,5
12			2,5
13			3
14			3,5
15			4
16			5
17			6
18	 363 x 363 mm	0	3
19		h / 450	1,5
20			2,5
21			3
22			3,5
23			4
24			5
25			6

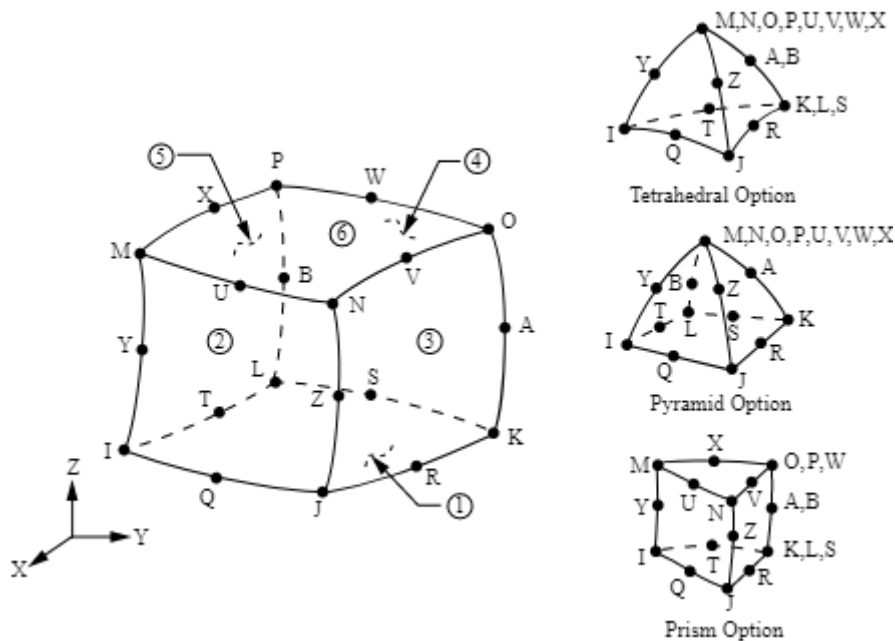
Na základě provedených experimentů byl vytvořen model skleněného pilíře v programu Ansys v uživatelském prostředí Workbench ve verzi 19.2 Celkem bylo vytvořeno 25 modelů (viz tab. 9.1). Modely 1, 10 a 18 sloužily k verifikaci modelu. Na modelu 2 proběhla validace. U modelu 2 byly použity k roznesení zatížení ocelové desky stejně, jako bylo postupováno při experimentu, v ostatních případech byl použit

roznášecí betonový blok výšky 250 mm, jehož vliv je podrobněji popsán v kap. 9.4.3. U modelů sloužících k verifikaci (1, 10 a 18) nebyla aplikována počáteční výstřednost pilíře, všechny ostatní pilíře byly modelovány s počáteční výstředností uprostřed pilíře rovnající se 1/450 jejich výšky. Tato hodnota byla zvolena podle normy pro navrhování zděných konstrukcí [46]. Výjimku tvořil model 2, který nebyl zatížen počáteční imperfekcí, ale byl zdeformován tak, aby průběh napětí z modelu korespondoval s napětím získaným vyhodnocením experimentu 01 (zatížení centrickým tlakem).

Kromě pilíře čtvercového průřezu o rozměrech 240 x 240 mm, který byl vyzděn ze dvou cihel stejně jako v případě zkušebních těles, byly pro parametrickou studii zvoleny další dva typy průřezů, viz tab. 9.1. Tyto nové průřezy byly vybrány s ohledem na praktické využití. První z nich je sestaven ze tří cihel v jedné vrstvě, které jsou v následujících vrstvách prohozeny tak, aby došlo k provázání cihel. Jedná se o obdélníkový průřez o rozměrech 240 x 363 mm. Poslední modelovaný průřez je složen ze čtyř skleněných cihel do čtverce s dutinou uprostřed rozměrech 363 x 363 mm. V jednotlivých vrstvách jsou cihly opět posunuty tak, aby došlo k jejich provázání.

9.1.1 Použité prvky

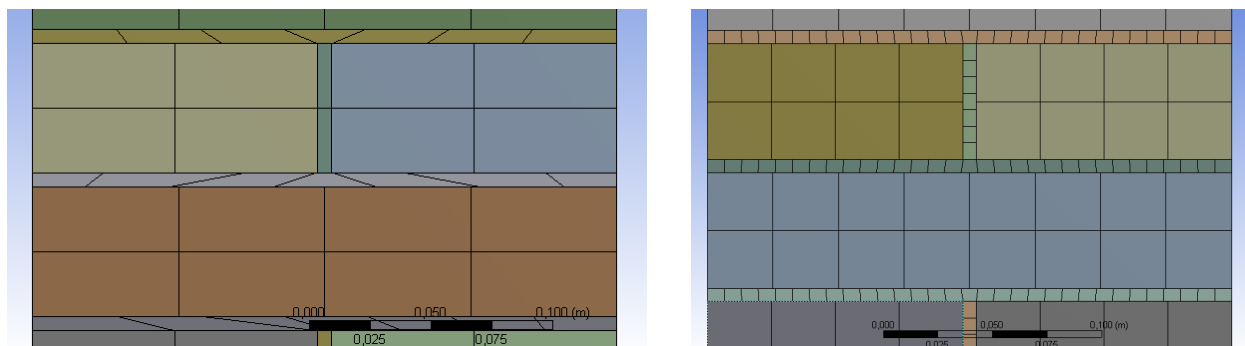
Jednalo se o prostorový model používající k diskretizaci prvky SOLID186, což je kvadratický objemový dvacetiužlový prvek se třemi stupni volnosti v každém uzlu, viz obr. 9.1. Spoje byly modelovány jako tuhé (bonded) pomocí kontaktních prvků TARGE170 a CONTA174. Prvky TARGE170 jsou na povrchu označeném jako cílový (target) a prvky CONTA174 na povrchu označeném jako kontaktní (contact). Prvky TARGE detekují přítomnost prvků CONTA a podle vzájemné polohy dochází k jejich vzájemné interakci.



Obr. 9.1: Kvadratický objemový prvek SOLID 186 a jeho varianty, [60]

9.1.2 Nastavení sítě a řešiče

Na modelu 2 byly vyzkoušeny dvě hustoty sítě – hrubá a jemná. Při hrubé síti nebyla maximální vzdálenost jednotlivých uzlů nijak omezena. U jemné sítě byla síť upravena tak, aby maximální vzdálenost uzlů v cihlách nepřekročila 30 mm a v maltě nepřekročila 8 mm. Za těchto podmínek byla vygenerována síť automaticky. Porovnání hustoty sítě je patrné na obr. 9.2.

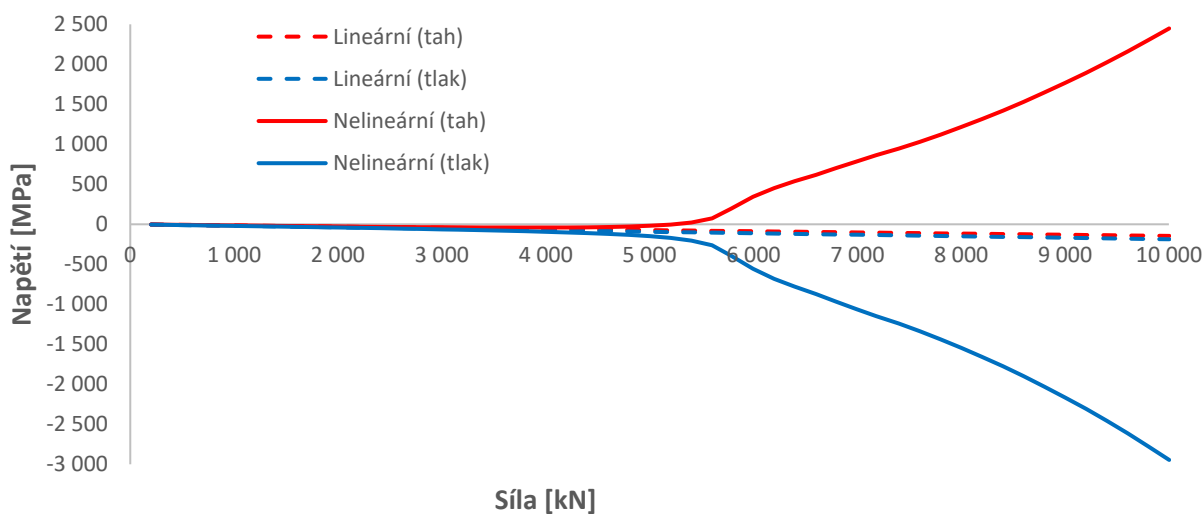


Obr. 9.2: Porovnání hrubé (vlevo) a jemné (vpravo) sítě

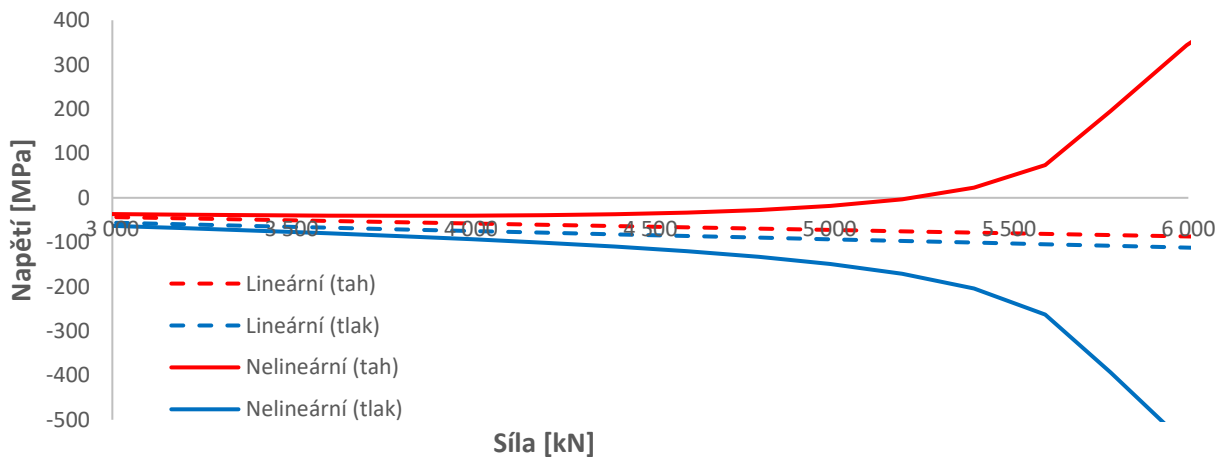
Zjemnění sítě mělo výrazný vliv na čas potřebný pro provedení výpočtu, zatímco v případě hrubé sítě proběhl výpočet za 330 s (cca 5 min.), v případě jemné sítě probíhal výpočet na stejném hardwaru 25420 s (přes 7 hod.). Při porovnání výsledků bylo zjištěno, že rozdíl v napětích činí přibližně 4 %, což lze považovat za zanedbatelné a v rámci úspory času bylo při dalším modelování použito pouze hrubé sítě, která byla vygenerována tak, aby vzdálenost jednotlivých uzlů nepřekročila 50 mm.

Zatížení bylo vneseno v jednom kroku (step), který byl rozdělen na 50 podkroků (substeps). Typ řešiče byl nejprve zvolen automaticky softwarem, pouze v případě jemné sítě došlo k vyčerpání fyzické paměti a bylo nutné nastavit iterační řešič (Iterative solver). Vzhledem k tomu, že vyšší pilíře by obsahovaly více prvků a kapacita fyzické paměti by tedy byla pravděpodobně také nedostatečná, bylo ve všech případech použito iteračního řešiče. Ostatní parametry byly ponechány ve výchozím nastavení, takže byly určeny automaticky softwarem (Program Controlled).

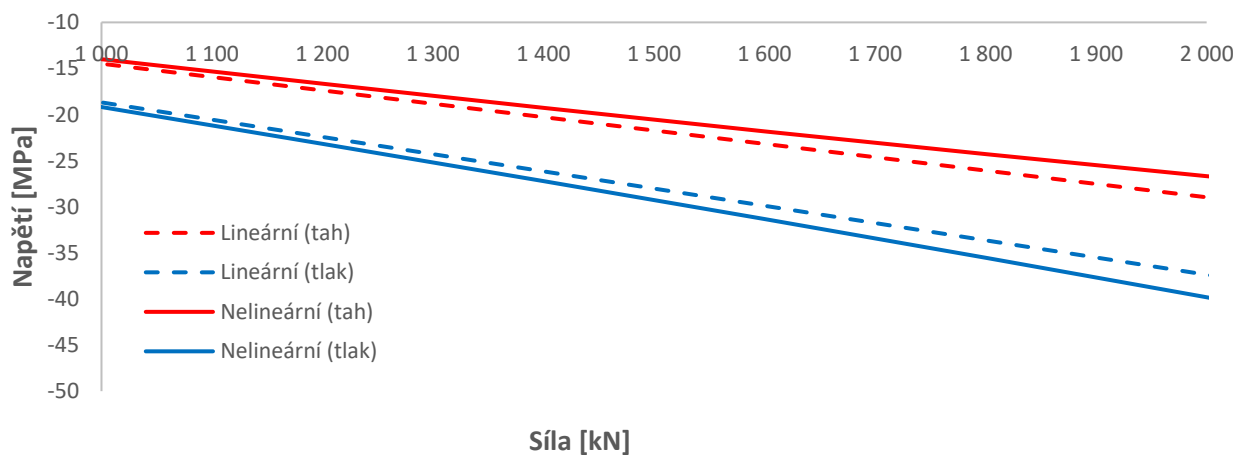
Výpočet byl proveden jak lineárně, tak nelineárně (zapnuta funkce Large deflection). Porovnáním výsledků bylo zjištěno, že při vyšším zatížení je vliv nelineárního výpočtu nezanedbatelný a je proto nutné počítat veškeré modely nelineárně. Porovnání bylo provedeno na třímetrovém pilíři s počáteční výstředností 1/300 výšky. Lineární výpočet trval v tomto případě přibližně 13 minut, nelineární výpočet přes 1,5 hodiny. Z obr. 9.3 zobrazujícím průběh napětí na opačných stranách pilíře (tlačená x tažená) uprostřed rozpětí v závislosti na působící síle a z výřezů ve větším měřítku na obr. 9.4 a obr. 9.5, je zřejmé, že je nutné výpočty provádět nelineárně, neboť při silách vyšších než 1500 kN je rozdíl mezi lineárním a nelineárním výpočtem vyšší než 5 %. V případě štíhlejších pilířů je překročena pětiprocentní mez dříve, například u pilíře výšky 6 m je to při 80 kN.



Obr. 9.3: Porovnání průběhu napětí mezi lineárním a nelineárním výpočtem



Obr. 9.4: Porovnání lineárního a nelineárního výpočtu (detail 1)



Obr. 9.5: Porovnání lineárního a nelineárního výpočtu (detail 2)

9.1.3 Okrajové podmínky

V patě pilíře byla v numerickém modelu uvažována podpora zabraňující posunu ve všech třech osách a pootočení okolo svislé osy. V hlavě pilíře bylo zabráněno oběma vodorovným posunům a pootočení okolo svislé osy.

9.1.4 Zatížení

V modelu bylo uvažováno s počáteční imperfekcí způsobenou nepřesnostmi při zdění. Imperfekce byla do modelu vnesena tak, že model byl uprostřed výšky zatížen vodorovnou deformací příslušné velikosti a proveden výpočet. Velikost počáteční imperfekce byla zvolena podle normy ČSN EN 1996-1-1 [46] jako 1/450 výšky pilíře. Po provedení výpočtu byl zdeformovaný tvar konstrukce převzat do nového výpočtu, ve kterém bylo aplikováno svislé zatížení. Při tomto postupu se nepřenáší napětí na prvcích, ale pouze deformace.

Tlaková síla byla v případě modelu 2 modelována jako osamělé břemeno působící na čtvercové ploše 100 x 100 mm, v ostatních případech byla tato síla rozpočítána na celou plochu roznášecího betonového bloku tl. 250 mm. Dále byla uvažována vlastní tíha tělesa pomocí tíhového zrychlení $g = 9,8066$.

V případě verifikačních modelů (modely 1, 10 a 18) byla použita nulová imperfekce a nebylo aplikováno tíhové zrychlení.

9.2 Verifikace modelu




Verifikace neboli ověření, že simulační model odpovídá abstraktnímu modelu, byla provedena na modelech 1, 10 a 18 tak, že se napětí odečtené z modelu porovnávalo s hodnotou vypočtenou na základě fyzikálních rovnic. V případě centricky zatíženého pilíře bez imperfekcí a excentricit je napětí popsáno rovnicí (9.1).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (9.1)$$

kde σ je normálové napětí;
 F působící síla;
 A plocha průřezu.

Verifikace ostatních modelů vytvořených v rámci parametrické studie byla provedena na základě těchto tří modelů (modely 1, 10 a 18). Tento krok byl možný, neboť všechny modely byly modelovány stejným způsobem, ve stejném softwaru a pomocí stejných vstupních hodnot. K verifikaci bylo ověřováno svislé normálové napětí na povrchu cihly uprostřed výšky pilíře při síle 2000 kN.

Tab. 9.2: Verifikace modelů

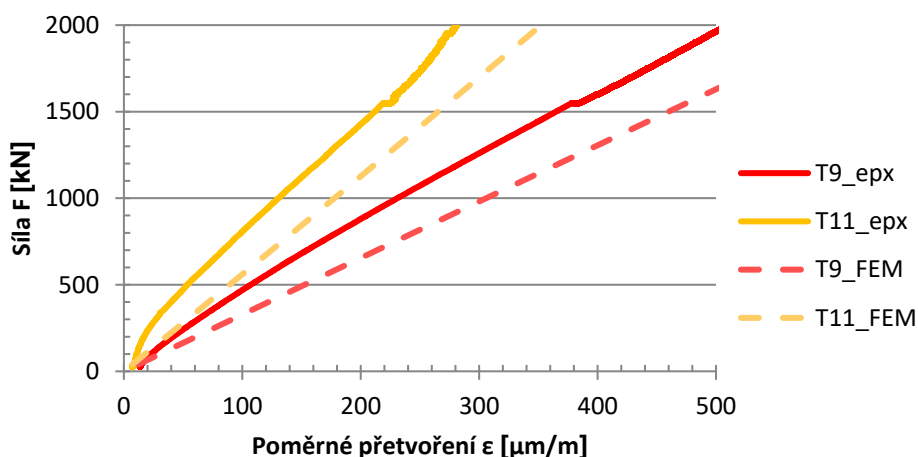
Číslo modelu	Tvar modelu	Vypočtené napětí σ_{cal} [MPa]	Napětí z modelu σ_{mod} [MPa]	Odchylka [%]
1	 240 x 240 mm	34,72	33,46	3,77
10	 240 x 363 mm	22,96	23,69	3,08
18	 363 x 363 mm	15,37	18,60	17,4

Z tab. 9.2 je zřejmé, že se hodnoty z modelu od vypočtených liší přibližně o 4 %. Rozdíl je s největší pravděpodobností způsoben nehomogenitou materiálu a vliv bude hrát i hrubé nastavení sítě. V zásadě lze ale říci, že numerický model odpovídá abstraktnímu modelu.

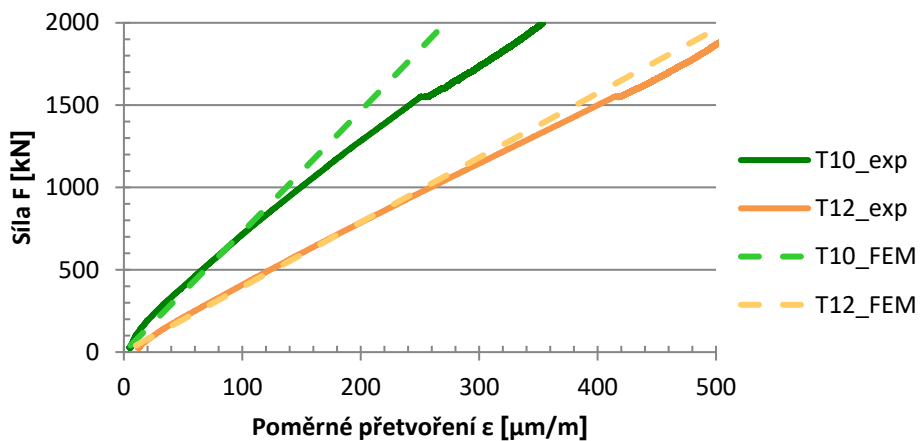
Výjimku představuje model pilíře s otvorem uprostřed, kde odchylka přesahuje 17 %. Tak velký rozdíl je možné přičíst právě tvaru průřezu s otvorem uprostřed.

9.3 Validace modelu

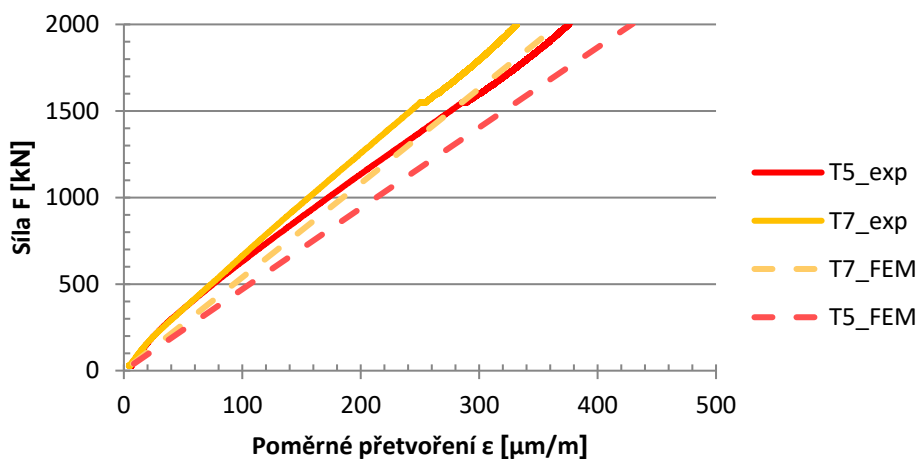
Validace slouží k ověření, že numerický model poskytuje pokud možno shodné výsledky se skutečným experimentem. Validace byla proto provedena na modelu 2, protože ten odpovídal provedenému experimentu. V tomto modelu nebyla zanesena imperfekce, ale byl zdeformován tak, aby průběh napětí co nejvíce odpovídal průběhu napětí získaném z experimentu. V místech, kde byly na experimentálním tělese osazeny tenzometry, byly v modelu 2 aplikovány vodorovné deformace tak, aby bylo dosaženo stejného průběhu napětí.



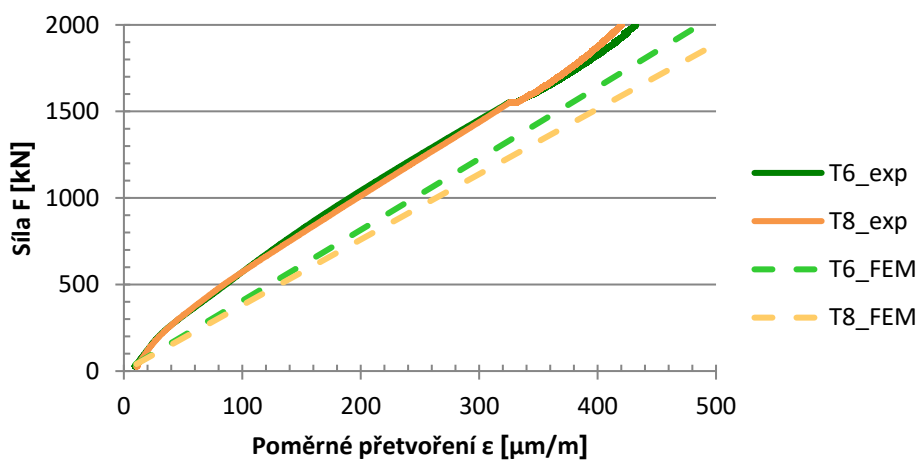
Obr. 9.6: Průběh svislého poměrného přetvoření v horní třetině ve směru osy y



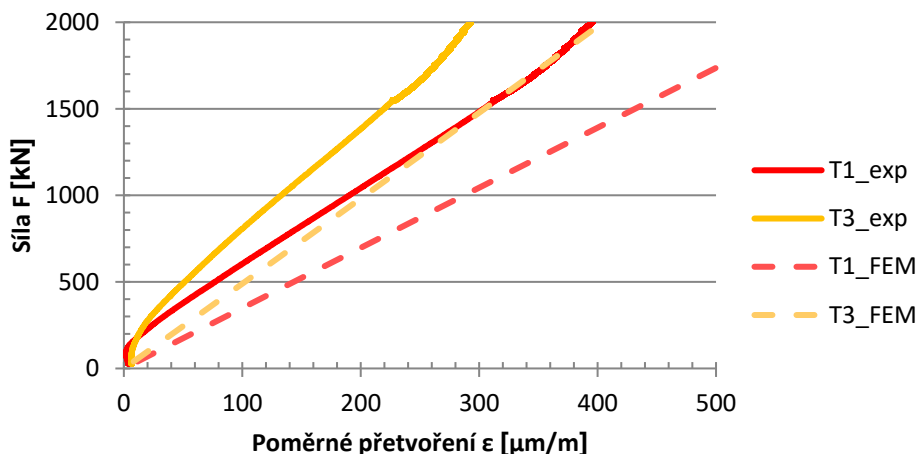
Obr. 9.7: Průběh svislého poměrného přetvoření v horní třetině ve směru osy z



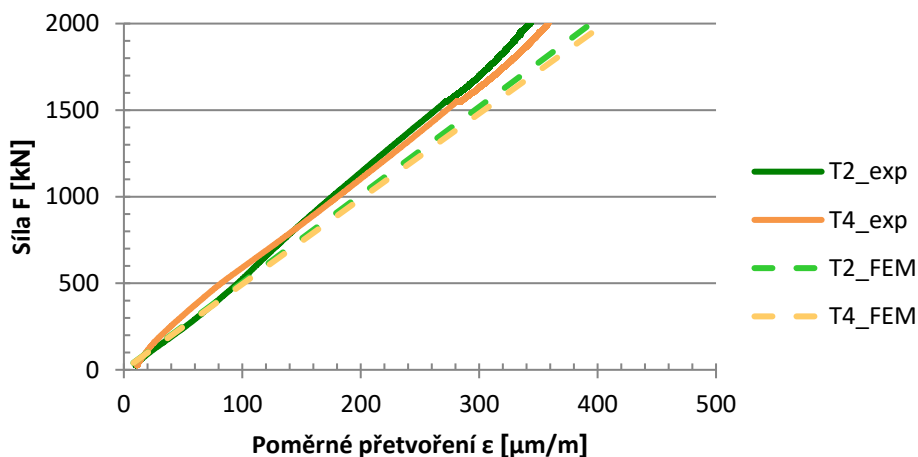
Obr. 9.8: Průběh svislého poměrného přetvoření uprostřed výšky ve směru osy y



Obr. 9.9: Průběh svislého poměrného přetvoření uprostřed výšky ve směru osy z



Obr. 9.10: Průběh svislého poměrného přetvoření ve spodní třetině ve směru osy y

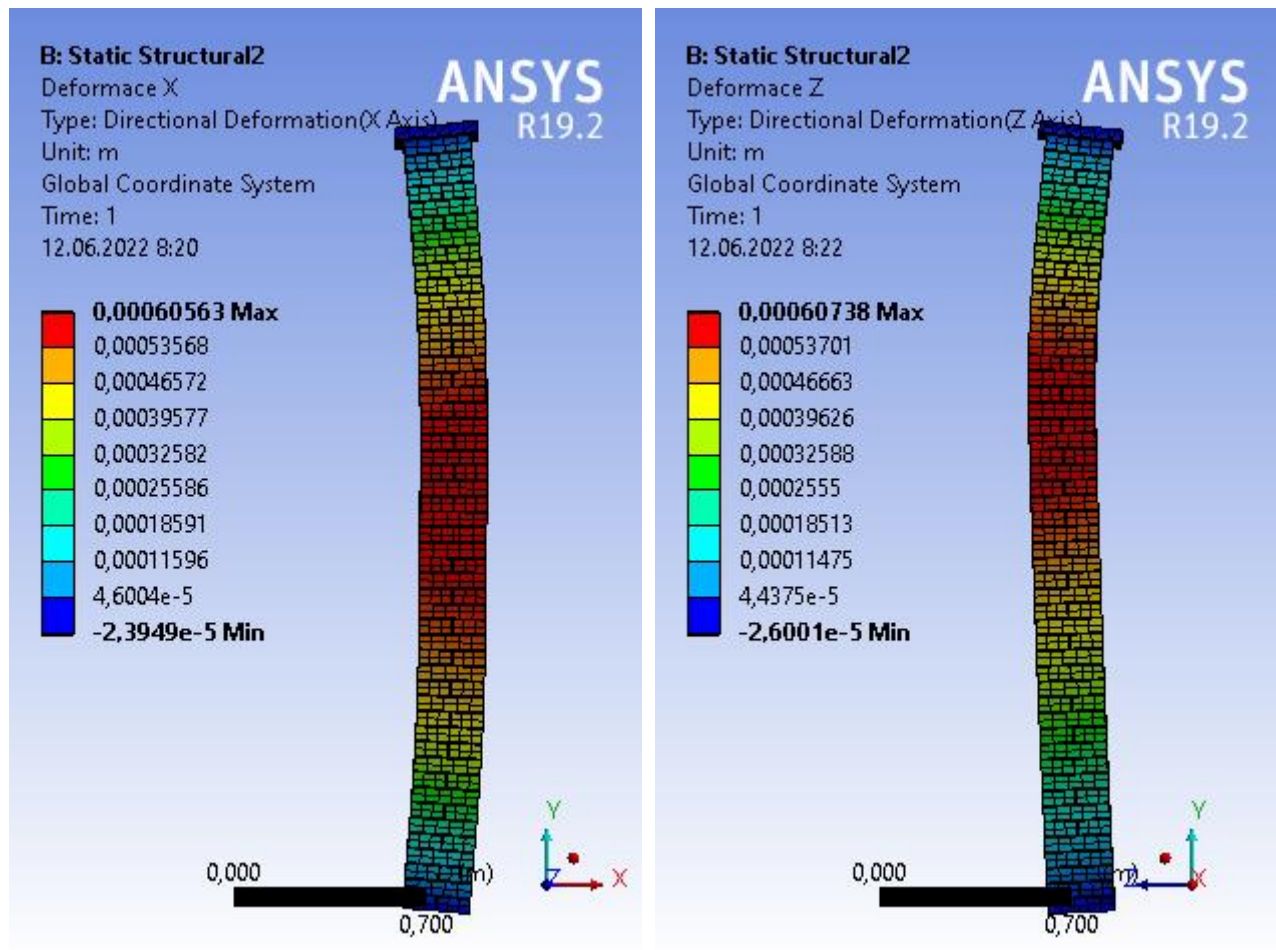


Obr. 9.11: Průběh svislého poměrného přetvoření ve spodní třetině ve směru osy z

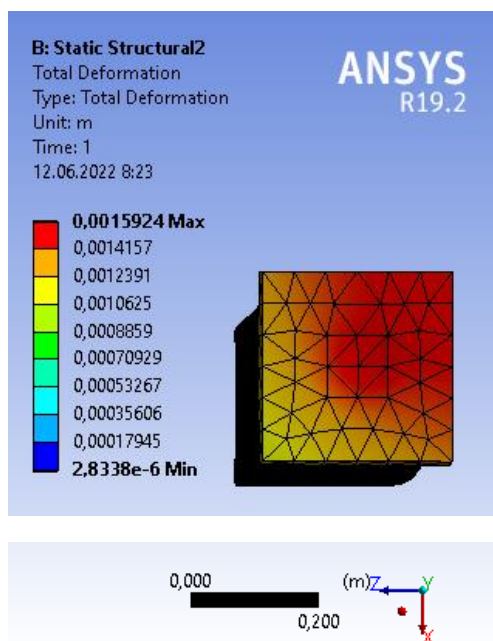
Na obr. 9.6 a obr. 9.7 je porovnán průběh svislého poměrného přetvoření v horní třetině pilíře určeného výpočtem a získaného měřením při experimentu ve směru osy y a z pro model 2. Na obr. 9.8 a obr. 9.9 je porovnán průběh uprostřed výšky ve směru osy y a z. Na obr. 9.10 a obr. 9.11 je vykreslen průběh ve spodní třetině, opět ve směru osy y a z.

Rozdíl mezi změřenými a vypočtenými hodnotami může být způsoben řadou faktorů, například nehomogenitou pilíře (cihly a malty), idealizací tvaru cihel – v modelu uvažovány jako kvádry (nekomolé), rozdílným modulem pružnosti pro jednotlivé cihly nebo v neposlední řadě nelze vyloučit chybu při měření.

Na obr. 9.12 je zobrazena zdeformovaná konstrukce u modelu sloužícího k validaci. Vlevo je znázorněna deformace ve směru vodorovné osy x a vpravo ve směru vodorovné osy z. Deformace odpovídá zatížení 2000 kN. Z obr. 9.13, kde je znázorněna celková deformace, je zřejmé, že se jedná o prostorovou deformaci.






Obr. 9.12: Deformace ve směru vodorovné osy x (vlevo) a vodorovné osy z (vpravo)



Obr. 9.13: Celková deformace

9.4 Parametrická studie

Tab. 9.3: Parametrická studie

Číslo modelu	Tvar modelu	Výstřednost e [mm]	Výška h [m]	Síla při porušení F_R [kN]	Svislé napětí uprostřed výšky σ [MPa]	
					tah	tlak
1	 240 x 240 mm	0	3	4136	-66,7	-70,4
2		dle exp.	3	1303	-27,8	-15,9
3		3,33	1,5	3850	-61,5	-79,5
4		5,55	2,5	3757	-51,1	-82,5
5		6,66	3	3277	-38,5	-65,2
6		7,77	3,5	2790	-22,5	-75,8
7		8,88	4	2457	-13,5	-76,8
8		11,11	5	1831	11,5	-78,3
9		13,33	6	1325	28,1	-77,5
10	 240 x 363 mm	0	3	6481	-75,6	-74,9
11		3,33	1,5	5585	-56,8	-68,4
12		5,55	2,5	5340	-50,2	-72,8
13		6,66	3	5379	-44,8	-79,1
14		7,77	3,5	4777	-33,6	-83,0
15		8,88	4	4159	-16,9	-82,2
16		11,11	5	3067	20,4	-85,2
17		13,33	6	2143	25,8	-80,8
18	 363 x 363 mm	0	3	7330	-67,5	-67,5
19		3,33	1,5	6733	-55,5	-63,0
20		5,55	2,5	6067	-50,2	-58,3
21		6,66	3	5883	-48,1	-61,9
22		7,77	3,5	5865	-45,8	-63,6
23		8,88	4	5738	-42,5	-65,4
24		11,11	5	5317	-32,1	-66,7
25		13,33	6	4820	-15,9	-71,9

Poznámka: Hodnoty označené červeně jsou teoretické, neboť před dosažením teoretické únosnosti došlo ke vzniku tahů, které by měly za následek rozlepení spár vlivem ztráty adheze malty. Skutečná únosnost bude odpovídat síle, při které vznikají tahy, tyto síly jsou shrnuty v tab. 9.4.

V rámci parametrické studie byla na modelech z tab. 9.1 určena síla při porušení jednotlivých typů pilířů. Základní výška pilíře (3 m) byla zvolena podle standardní konstrukční výšky podlaží obytných budov, která se pohybuje přibližně od 2,8 do 3,5 m. V parametrické studii byly zahrnuty modely od poloviční výšky (1,5 m) až po dvojnásobnou (6 m).

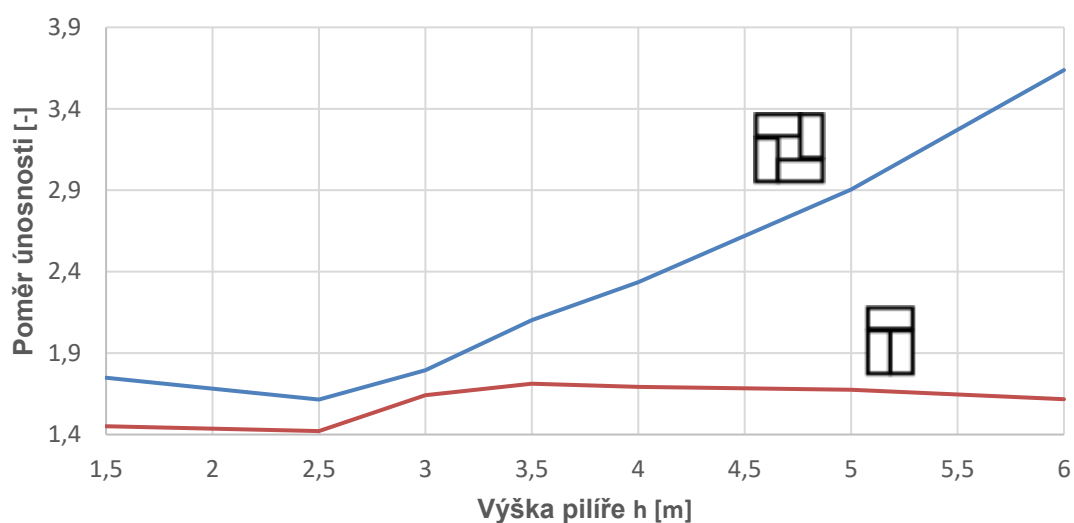
Půdorysné rozměry byly zvoleny podle výrobních rozměrů cihel a s ohledem na to, aby bylo možné pilíř řádně provázat bez použití nestandardních cihel. Tvar průřezu je navržen přibližně čtvercový, neboť je tato práce zaměřena na centricky tlačené pilíře.

Síla při porušení odpovídá svislému normálovému napětí 100 MPa s ohledem na výsledky tlakových zkoušek cihel (viz kap. 7.5).

9.4.1 Vliv tvaru průřezu

V tab. 9.3 jsou shrnuty síly při porušení pro všechny modely zahrnuté do parametrické studie. Dalo by se očekávat, že ve srovnání s malým čtvercovým průřezem (240 x 240 mm) bude mít obdélníkový průřez (240 x 363 mm) přibližně 1,5krát větší únosnost, protože plocha průřezu je přibližně 1,5krát větší. Ukazuje se, že ve skutečnosti se únosnost obdélníkového pilíře pohybuje v závislosti na výšce od 1,42násobku do 1,71násobku únosnosti čtvercového průřezu. Výraznější rozptyl vykazuje velký čtvercový průřez, který má dvojnásobnou plochu oproti malému čtvercovému průřezu, dalo by se tedy očekávat dvojnásobná únosnost, ve skutečnosti se ale do výšky pilíře přibližně 3 m únosnost pohybuje do 1,7násobku únosnosti malého čtvercového průřezu a u výšek pilíře nad 3 m poměr únosností pozvolna roste. Porovnání únosností obdélníkového a velkého čtvercového pilíře vůči malému čtvercovému pilíři je zobrazeno na obr. 9.14.

V případě malého čtvercového průřezu a obdélníkového průřezu se při větších výškách (nad 4 m) objevila svislá tahová napětí, která by způsobila odlepení malty od cihly, takže byla únosnost těchto modelů omezena na hodnotu síly, při které vznikají první tahová napětí, viz tab. 9.4. Velký čtvercový průřez (363 x 363 mm) je oproti zbývajícím dvěma dostatečně masivní a tento jev se u případů uvažovaných v parametrické studii neprojevil, viz tab. 9.3.



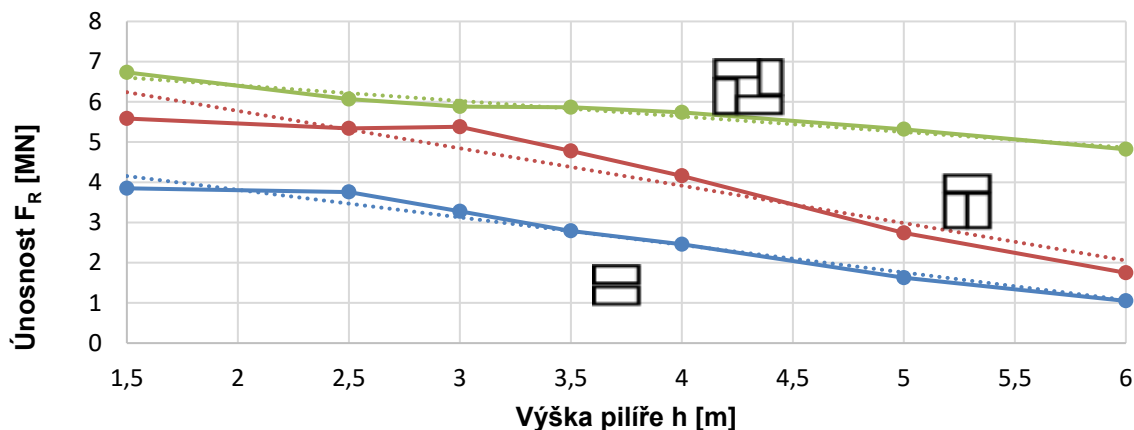
Obr. 9.14: Poměr únosností obdélníkového průřezu (240 x 363 mm) a velkého průřezu (363 x 363 mm) vůči malému průřezu (240 x 240 mm)

Tab. 9.4: Únosnosti ohýbaných pilířů

Číslo modelu	Síla při porušení F_R [kN]
8	1625
9	1049
16	2739
17	1748

9.4.2 Vliv výšky pilíře

Z grafu na obr. 9.15, který znázorňuje vliv výšky pilíře na únosnost, je zřejmé, že pokles únosnosti s narůstající výškou je přibližně lineární (tečkované čáry v grafu). V případě velkého čtvercového průřezu (363 x 363 mm) je vliv výšky pilíře na únosnost nejméně výrazný. Naopak největší vliv výšky je patrný u obdélníkového průřezu. Tento jev lze vysvětlit větší štíhlostí obdélníkového pilíře.



Obr. 9.15: Vliv výšky pilíře na únosnost

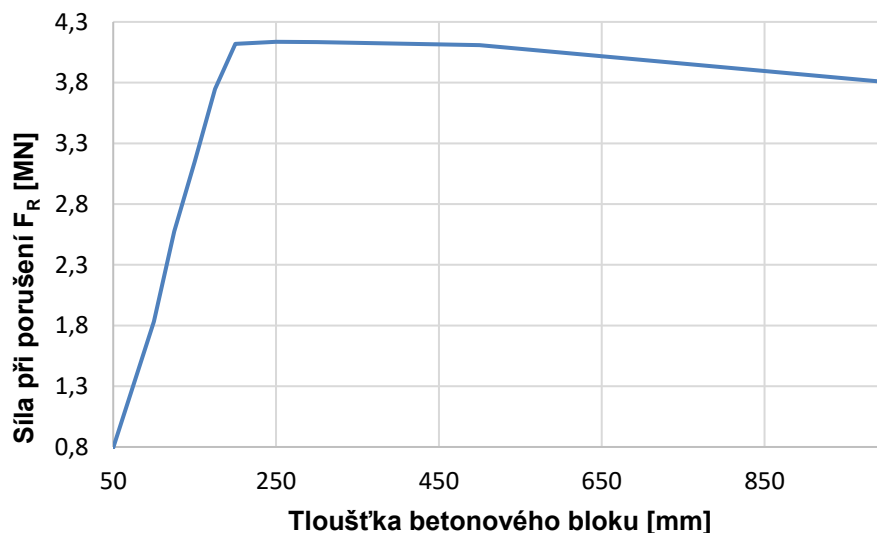
9.4.3 Vliv roznášecího betonového kvádrů

Model 2 sloužící k validaci byl modelován přesně podle experimentu – v hlavě pilíře byla umístěna ocelová deska tl. 40 mm o rozměrech 300 x 300 mm. Při praktickém využití se předpokládá použití roznášecího betonového bloku v hlavě pilíře, na kterém by byla uložena stropní konstrukce, proto byla provedena studie zaměřená na vliv tloušťky takového bloku na únosnost pilíře. Ve studii byly porovnány tloušťky roznášecího betonového bloku mezi 50 mm a 1000 mm. Základní tloušťka byla zvolena s ohledem na obvyklý modul keramických cihel 250 mm. Ostatní hodnoty násobky této hodnoty (125, 500 a 1000) a mezilehlé hodnoty pro zpřesnění.

Podle očekávání bylo zjištěno, že vliv tloušťky roznášecí vrstvy je výrazný. Hodnoty únosnosti pro jednotlivé tloušťky jsou porovnány v tab. 9.5 a obr. 9.16. Zpočátku je znát výrazný nárůst únosnosti, od tloušťky bloku 250 mm však dochází opět k jejímu poklesu. Tento pokles lze vysvětlit vlivem nárůstu výšky (zvětšení štíhlosti pilíře). Z provedené studie se proto doporučuje tloušťka roznášecího bloku v rozmezí 200 mm – 300 mm. U modelů použitých v parametrické studii byla zvolena výška betonového roznášecího pilíře 250 mm.

Tab. 9.5: Vliv roznášecího bloku

Tloušťka roznášecího betonového bloku [mm]	Síla při porušení F_R [kN]
50	794
100	1832
125	2574
150	3149
175	3747
200	4119
250	4136
300	4133
500	4109
1000	3804



Obr. 9.16: Vliv tloušťky roznášecího betonového bloku

10 NÁVRHOVÝ MODEL ZDĚNÉHO PILÍŘE Z PLNÝCH SKLENĚNÝCH CIHEL

Navrhováním zdiva se zabývá norma ČSN EN 1996-1-1 [46]. Tato norma explicitně nepředpokládá pro zdivo použití skleněných cihel, avšak připouští použití stejných zásad a aplikačních pravidel i pro jiné druhy materiálů. Z toho vyplývá, že obecně je možné tuto normu pro návrh zdiva ze skleněných cihel použít. Pro předběžný návrh zděných pilířů ze skleněných cihel lze použít následující návrhový postup, který je omezen některými předpoklady definovanými v závěru kapitoly.

Dle ČSN EN 1996-1-1 [46] jsou zdicí prvky (cihly) řazeny buď do kategorie I nebo do kategorie II. Kategorii zdicích prvků určuje výrobce podle pravděpodobnosti, s jakou zdicí prvek nedosáhne deklarované pevnosti. Pokud je tato pravděpodobnost menší než 5 %, potom je zdicí prvek zařazen do kategorie I, v ostatních případech do kategorie II. Dále se zdicí prvky zařadí do skupin 1 až 4 podle velikosti a orientace děr a dutin. Zařazení opět provádí výrobce.

V případě zkoušených plných skleněných cihel doporučujeme zařazení do kategorie I a skupiny 1.

Pevnost zdiva lze podle evropských norem stanovit dvěma postupy – ze zkoušky podle normy ČSN EN 1052-1 [50] nebo podle vzorce (10.1) určeného pro zdivo zhotovené z obyčejné malty (tj. ne pro tenké spáry). Pojem „obyčejná malta“ je definován normou ČSN EN 1996-1-1 [46].

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} \quad (10.1)$$

kde f_b je normalizovaná pevnost zdicích prvků v tlaku;
 f_m pevnost malty v tlaku;
 K součinitel závislý na druhu zdicích prvků a malty.

Hodnota součinitele K není pro skleněné zdicí prvky normou definována, norma však definuje hodnotu pro cihly z umělého kamene, jejichž vlastnosti jsou srovnatelné se skleněnými cihlami, doporučuji proto počítat s hodnotou 0,45.

Níže je uveden vzorový výpočet únosnosti pro třímetrový pilíř čtvercového průřezu 240 x 240 mm. Pevnost malty je uvažována podle technického listu výrobce 10 MPa (viz příloha). Při kontrolních zkouškách byla v laboratořích FSv naměřena vyšší hodnota 25,97 MPa (viz kap. 7.1.3). Pevnost zdicích prvků v tlaku je uvažována podle Protokolu o zkoušce č. 74/2015 (zpracovatel: IKATES, s.r.o., [57]) hodnotou 109,2 MPa. Vypočtená únosnost představuje charakteristickou hodnotu únosnosti v prostém tlaku, tj. bez započtení součinitelů spolehlivosti a bez zahrnutí vlivu vzpěru.

$$f_b = 109,2 \text{ MPa}$$

$$f_m = 10 \text{ MPa}$$

$$K = 0,45$$

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} = 0,45 \cdot 109,2^{0,7} \cdot 10^{0,3} = 23,99 \text{ MPa}$$

$$e_{he} = 0 \text{ mm} \quad \text{nepůsobí vodorovné zatížení}$$

$$M_{id} = 0 \text{ kNm} \quad \text{centrický tlak}$$

$$\rho_n = 1 \quad \text{pilíř není podepřen tuhými stropy}$$

$$h_{ef} = \rho_n \cdot h = 1 \cdot 3 = 3 \text{ m}$$

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{3000}{450} = 6,67 \text{ mm}$$

$$e_i = \text{MAX} \left(\frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} ; 0,05t \right) = \text{MAX}(0 + 0 + 6,67 ; 12) = 12 \text{ mm}$$

$$t = 240 \text{ mm}$$

$$\Phi_i = 1 - 2 \frac{e_i}{t} = 1 - 2 \frac{12}{240} = 0,9$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{\frac{f_k}{E}} = \frac{3000}{240} \sqrt{\frac{23,99}{30,56 \cdot 10^3}} = 0,35$$

$$e_{hm} = 0 \text{ mm} \quad \text{nepůsobí vodorovné zatížení}$$

$$M_{md} = 0 \text{ kNm} \quad \text{centrický tlak}$$

$$e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} = 0 + 0 + 6,67 = 6,67 \text{ mm}$$

$$\Phi_\infty = 0,5 \quad \text{hodnoty jsou zpravidla velmi malé (nutno vyzkoušet)}$$

$$e_k = 0,002 \cdot \Phi_\infty \cdot \frac{h_{ef}}{t_{ef}} \sqrt{t \cdot e_m} = 0,002 \cdot 0,5 \cdot \frac{3000}{240} \sqrt{240 \cdot 6,67} = 0,5 \text{ mm}$$

Pro $\lambda < \lambda_c = 15$ lze uvažovat $e_k = 0$

$$e_{mk} = \text{MAX}(e_m + e_k ; 0,05t) = \text{MAX}(6,67 + 0,5 ; 12) = 12 \text{ mm}$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{0,35 - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{12}{240}} = 0,43$$

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2 \frac{12}{240} = 0,9$$

$$\Phi_m = A_1 \cdot e^{-\frac{u^2}{2}} = 0,9 \cdot 2,72^{-\frac{0,43^2}{2}} = 0,82$$

$$\Phi = \text{MIN}(\Phi_i ; \Phi_m) = \text{MIN}(0,9 ; 0,82) = 0,82$$

$$A = b \cdot a = 0,24 \cdot 0,24 = 0,058$$

$$N_{Rk} = \Phi \cdot A \cdot f_k = 0,82 \cdot 0,058 \cdot 23,99 = 1,141 \text{ MN} = 1141 \text{ kN}$$




Při experimentu byla naměřena síla při vzniku první praskliny ve skleněné cihle 1325 kN resp. 1450 kN. Porovnáním naměřených a vypočtených hodnot je možné dospět k závěru, že postup uvedený v normě přiléhavě předpovídá zatížení při vzniku první praskliny. Pro použití při návrhu konstrukce se tato hodnota snižuje s ohledem na možný rozptyl materiálových vlastností, zjednodušení v návrhovém modelu, náhodnou excentricitu zatížení a další vlivy, které není možné přímo zohlednit, pomocí součinitele spolehlivosti materiálu γ_M .

S ohledem na velký vliv imperfekcí, kterým se při zdění nelze vyhnout, doporučuji použití součinitele spolehlivosti materiálu hodnotou $\gamma_M = 2,2$, tedy stejnou hodnotu, jakou

doporučuje norma při použití plných pálených cihel. V daném případě (třímetrový pilíř 240 x 240 mm, viz obr. 10.1a.) vychází návrhová únosnost uprostřed výšky sloupu:

$$N_{Rd} = \frac{N_{Rk}}{\gamma_M} = \frac{1141}{2,2} = 519 \text{ kN}$$

Tab. 10.1: Porovnání výsledků parametrické studie s charakteristickou únosností vypočtenou podle normy

Číslo modelu	Tvar modelu	Výška h [m]	Síla z modelu F_R [kN]	Charakteristická únosnost N_{Rk} [kN]
3	 240 x 240 mm	1,5	3850	1047
4		2,5	3757	1003
5		3	3277	971
6		3,5	2790	933
7		4	2457	890
8		5	1625	792
9		6	1049	670
11	 240 x 363 mm	1,5	5585	1744
12		2,5	5340	1671
13		3	5379	1617
14		3,5	4777	1554
15		4	4159	1482
16		5	2739	1319
17		6	1748	1115
19	 240 x 363 mm	1,5	6733	3038
20		2,5	6067	2992
21		3	5883	2955
22		3,5	5865	2909
23		4	5738	2855
24		5	5317	2722
25		6	4820	2563

V tab. 10.1 je provedeno porovnání předpokládané síly při porušení určené z numerického modelu a charakteristické hodnoty únosnosti vypočtené podle postupu v normě. Vzhledem k tomu, že v parametrické studii byla výška pilíře omezena na 6 m a normový výpočet je pro tyto případy odpovídající, doporučuji provádět pilíře do výšky max. 6 m a maximální výstřednost pilíře by neměla být větší než 1/450 výšky pilíře. Výpočet podle zde uvedené metody lze využít pro stanovení návrhové únosnosti pilířů vyzděných z plných skleněných cihel, jejichž průřez odpovídá průřezům uvedeným na obr. 10.1.



a)



b)



c)

Obr. 10.1: Přípustné průřezy zděných pilířů

11 ZÁVĚR

Předkládaná disertační práce popisuje výsledky výzkumu zaměřeného na tlačené pilíře zděné ze skleněných cihel. Součástí výzkumu byly experimenty prováděné v Experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT.

Vzhledem k tomu, že se jedná o nový dosud nepříliš rozšířený konstrukční prvek, neboť po světě bylo dosud realizováno jen několik málo obdobných konstrukcí, byl výzkum v první řadě zaměřen na výběr vhodného spojovacího prostředku a úpravy povrchu samotných cihel. Dále byla provedena studie s cílem vytvoření analytického modelu pro navrhování nosných zděných konstrukcí ze skleněných cihel.

11.1 Způsob spojování cihel

Výzkum byl zaměřen na zdivo vzhledem co nejvíce připomínající klasické režné zdivo. Ke spojování proto byly voleny materiály na bázi cementu na rozdíl od běžně používaných lepidel na sklo, která jsou na bázi epoxidu, polyuretanu nebo silikonu. Kromě estetického hlediska hovoří v neprospěch těchto lepidel také jejich cena technologická náročnost. Oproti tomu materiály na bázi cementu (malty) jsou běžně dostupné a k jejich aplikaci není třeba odborné znalosti ani složité vybavení.

Přilnavost malt ke sklu je problematická, za pomoci smykových a adhezních zkoušek se proto hledal způsob, jak zvýšil spolupůsobení hladkého skleněného povrchu a spojovacího materiálu. Jako velmi efektivní se ukázalo drsnění povrchu pískováním, které za použití stejných malt přinášelo výrazně lepší výsledky, ovšem negativně ovlivňovalo estetický dojem při detailním pohledu skrz skleněný pilíř. Kromě toho pískování je při výrobě další operace navíc, která by výsledný produkt zdražovala. Bylo proto rozhodnuto o použití cihel nepískovaných a využití přísad určených ke zlepšení přilnavosti malty ke sklu. Vyzkoušeny byly dva přípravky oba na bázi latexu, které výrazným způsobem zvýšily přilnavost malty, aniž by zároveň zvýšily technologickou náročnost a vyvolaly potřebu vysoce kvalifikovaných pracovníků.

Původním záměrem bylo dosáhnout tloušťky okolo 1 cm, při smykových zkouškách se však ukázalo, že při této tloušťce dochází k rozpadnutí tělese ještě před zkouškou vinou malé adheze malty ke sklu. Další výzkum se proto zaměřil na vliv tloušťky spár. Ukázalo se, že s rostoucí tloušťkou klesá přilnavost malty ke sklu a dostatečné únosnosti je dosaženo pro tloušťky spár přibližně do 7 mm. Vzhledem k rozměrům cihel byla pro všechny experimenty ve druhé etapě volena tloušťka spár 8 mm.

Největší únosnost vykazovala malta 7 (Nivoplan s přísadou Planicrete) následovaná maltou 9 (Vetromalta s přísadou Planicrete). Vzhledem k tomu, že Vetromaltu vyrábí tentýž výrobce, jako zkoušené cihly, bylo rozhodnuto o použití právě této malty při následujících experimentech.

11.2 Navrhování tlačných konstrukčních prvků ze skleněných cihel

Na základě provedených experimentů zděného pilíře z plných skleněných cihel a navazujícího numerického modelu včetně parametrické studie byl vytvořen analytický model pro předběžný návrh zděných pilířů včetně doporučení pro praxi. Pro tvorbu numerického modelu bylo nejprve nutné určit materiálové vlastnosti použitých cihel a malty, k čemuž sloužily zkoušky skleněných cihel při třibodovém ohybu pro určení modulu pružnosti a pevnosti skla v tahu za ohybu a zkoušky vybraných malt v tahu za ohybu a v tlaku sloužící k určení modulu pružnosti, pevnosti v tlaku a pevnosti v tahu za ohybu. Následně byly provedeny zkoušky na malých tělesech sloužící k ověření adheze spojovacího materiálu, resp. malty. Jednalo se o zkoušky ve smyku a zkoušky adheze, jejichž výsledky sloužily k výběru vhodné malty.

Následně byly provedeny zkoušky zdiva na malých a velkých tělesech. Konkrétně se jednalo o zkoušky v tlaku provedené na třech malých tělesech vysokých přibližně 0,5 m, z nichž jedno těleso bylo tvořeno deseti cihlami vyzděnými na sobě a zbylá dvě tělesa byla vyzděna v šířce přibližně 0,5 m. Dále byly provedeny dva experimenty na pilířích velkých rozměrů, jednalo se o pilíře čtvercového průřezu rozměru 240 x 240 mm a výšky přibližně 3 m. V prvním případě byl pilíř zatěžován centricky, ve druhém bylo zatížení aplikováno s excentricitou. Vzhledem k tomu, že během prvního experimentu nedošlo k destrukci pilíře, byl pilíř zatížen nárazem při nízkém normálovém zatížení. Výsledky ze zkoušek velkých těles byly použity pro validaci numerického modelu sloužícího k provedení parametrické studie.

Parametrická studie byla provedena pro tři různé průřezy – malý čtvercový o rozměrech 240 x 240 mm, obdélníkový o rozměrech 240 x 363 mm a velký čtvercový s otvorem uprostřed o rozměrech 363 x 363 mm. Dále byl v rámci parametrické studie sledován vliv výšky pilíře a vliv tloušťky betonového roznášecího bloku umístěného v hlavě pilíře. Výsledky parametrické studie byly na závěr porovnány s analytickým modelem (návrhovým přístupem) vycházejícím z postupů sloužících k navrhování tradičních zděných konstrukcí.

11.3 Hlavní dosažené cíle

Pomocí praktických (experimentálních) a teoretických metod bylo dosaženo následujících cílů:

1. Výběr spojovacího materiálu pro zdění konstrukcí ze skleněných cihel
2. Materiálové zkoušky malt a skleněných cihel
3. Zkouška centricky zatíženého velkého pilíře zahrnující zkoušky nárazem měkkým a tvrdým tělesem
4. Zkouška excentricky zatíženého pilíře
5. Validace numerického modelu na základě dat z experimentů a parametrická studie na numerickém modelu
6. Porovnání výsledků parametrické studie s návrhovým analytickým modelem a stanovení doporučení pro navrhování v praxi

11.4 Doporučení pro návrh zdiva ze skleněných cihel

Přestože v současnosti není v systému českých ani evropských norem explicitně popsán postup pro návrh zdiva ze skleněných cihel, bylo prokázáno, že v případě centricky tlačných pilířů jsou výsledky vypočtené podle analytického modelu

vycházejícího z ČSN EN 1996-1-1 [46] přiléhavé, ovšem při návrhu a realizaci je však třeba dbát následujících doporučení:

- 1) Maximální výška zděného pilíře by neměla překročit 6 m
- 2) Zatížení by se do pilíře mělo vnášet rovnoměrně, ideálně přes roznášení betonový blok výšky 250 mm
- 3) Tloušťka spár by neměla překročit 8 mm
- 4) Je třeba dodržet správný poměr maltové směsi
- 5) Pilíř by měl být namáhán centrickým tlakem
- 6) Součinitel spolehlivosti materiálu volit 2,2 (doporučená hodnota pro předpisovou maltu a zdicí prvky kategorie I)
- 7) Koeficient K volit 0,45 (jako pro umělý kámen)

11.5 Hodnotné výstupy

Recenzovaný článek:

- FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Experimental investigation of mortar mechanical properties for glass brick masonry. *Glass Structures & Engineering*. 2019, 4(1), 127-141. ISSN 2363-5142. DOI [10.1007/s40940-018-0085-6](https://doi.org/10.1007/s40940-018-0085-6).

Příspěvky indexované v databázi Scopus:

- FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Glass Masonry - Experimental Verification of Bed Joint under Shear. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 3rd International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies, Riga, 2017-09-27/2017-09-29. Bristol: IOP Publishing Ltd, 2017. sv. 251. ISSN 1757-899X. DOI [10.1088/1757-899X/251/1/012097](https://doi.org/10.1088/1757-899X/251/1/012097). Dostupné z: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/251/1/012097/pdf>
- FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Mechanical properties of solid glass bricks. In: *MODERN BUILDING MATERIALS, STRUCTURES AND TECHNIQUES MBMST 2019*. The 13th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques, Vilnius, 2019-05-16/2019-05-17. VGTU Press, 2019. s. 47-52. ISSN 2029-9915. ISBN 978-609-476-197-3. DOI [10.3846/mbmst.2019.033](https://doi.org/10.3846/mbmst.2019.033). Dostupné z: http://webu3.vgtu.lt/uni/stf/mbmst/47-52_MBMST_033.pdf

12 NAVRHOVANÝ NAVAZUJÍCÍ VÝZKUM

Před uvedením do praxe je nutné výše zvedené experimenty zopakovat na větším statistickém vzorku. Dále by bylo vhodné provést zkoušku pilířů zkoumaných v parametrické studii, tj. obdélníkové průřezu a velkého čtvercového průřezu. V rámci provedeného výzkumu nebyla zkoušená tělesa vystavena atmosférickým účinkům, neboť se předpokládá použití v interiéru. Pro použití v exteriéru je nutné provést další výzkum zohledňující klimatické vlivy na únosnost.

12.1 Požární odolnost

Souběžně s tímto výzkumem byly provedeny zkoušky zaměřené na odolnost konstrukce na účinky požáru, [59]. Tento výzkum byl zaměřen na určení chování konstrukce vystavené z jedné strany požáru. Byla měřena teplota ve spárách a na povrchu nezatíženým požárem. Zdivo nebylo během experimentu zatěžováno, neboť zjištění únosnosti zdiva za požáru nebylo předmětem tohoto výzkumu. Proto by bylo vhodné se zaměřit při dalším výzkumu na únosnost zdiva ze skleněných cihel za požáru a provést požární zkoušku pod zatížením. Na obr. 12.1 je vlevo zobrazeno zkušební těleso během zkoušky a vpravo je vychladlý povrch vystavený požáru po provedené zkoušce.

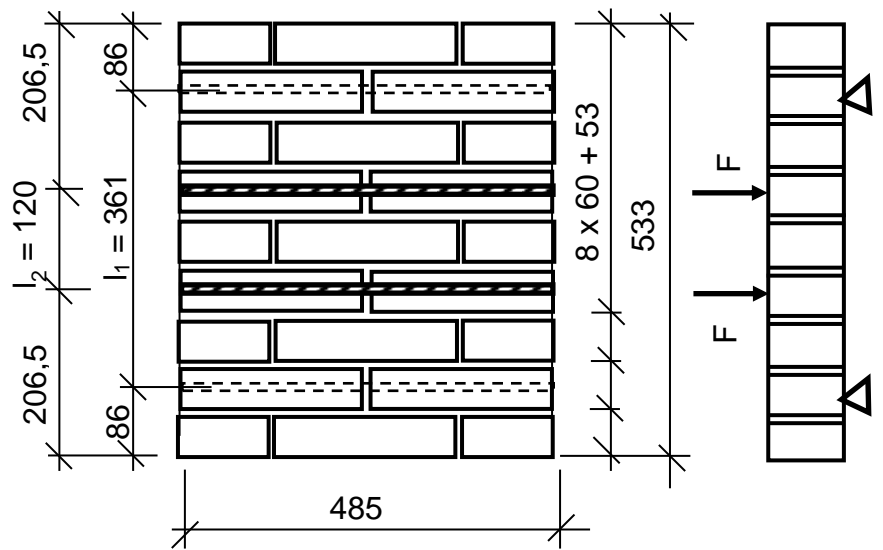


Obr. 12.1: Požární zkouška (vlevo) a těleso po zkoušce (vpravo), [59]

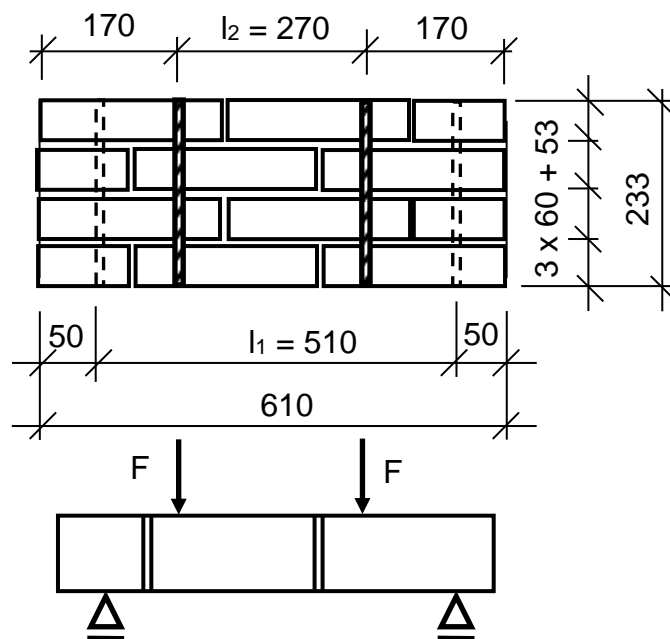
12.2 Konstrukce namáhané ohybem

Předložená disertační práce je zaměřena především na možnost použití plných skleněných cihel pro zděné konstrukce namáhané tlakem. V praxi jsou ale zděné konstrukce namáhané rovněž ohybem. Navazující výzkum by se proto měl zaměřit na chování zdiva ze skleněných cihel namáhaného ohybem nebo kombinací tlaku s ohybem. Zejména by bylo vhodné provést experimenty zaměřené na určení pevnosti zdiva v ohybu, tak jak jsou popsány v normě ČSN EN 1052-2, [51].

Předpokládané zkušební těleso pro zkoušky zdiva v ohybu je naznačeno na obr. 12.2 pro ohyb rovnoběžně s ložnými spárami a na obr. 12.3 pro ohyb kolmo k ložným spárám. V obou případech se jedná o čtyřbodový ohyb. Pokud by byla ohybová únosnost pro dané účely nedostatečná, bylo by vhodné zaměřit pozornost na zvýšení přilnavosti malty ke sklu, respektive nalezení vhodnějšího spojovacího materiálu.



Obr. 12.2: Rozměry tělesa pro zkoušku v ohybu rovnoběžně s ložnými spárami



Obr. 12.3: Rozměry tělesa pro zkoušku v ohybu kolmo k ložným spárám

12.3 Doporučení pro numerický model v navazujícím výzkumu

Jak se ukázalo, model popsáný v kap. 9 celkem věrně popisuje chování centricky tlačných pilířů. V případě modelování ohýbaných konstrukcí ale bude docházet na jednom líci konstrukce ke vzniku tahů. S ohledem na nízkou přilnavost malty ke sklu je vhodné místo pevného kontaktu (bonded) použít nelineární kontakt umožňující oddělení spojených bodů v normálovém směru a zároveň neumožňující posun v kontaktní rovině. V případě softwaru ANSYS je tento typ kontaktu popsán jako drsný (rough).

Co se týče materiálové nelinearity, tak s ohledem na to, že v případě skleněných cihel je rozhodující vznik první trhliny a sklo se chová do vzniku trhliny lineárně, není třeba uvažovat materiálově nelineární model.

13 BIBLIOGRAFIE

- [1] POPOVIČ, Štěpán. *Výroba a zpracování plochého skla*. Praha: Grada, 2009. ISBN 9788024731544.
- [2] CORRAO, Rossella a CON UN SAGGIO DI DIETRICH NEUMANN. *Glassblock and architecture: evoluzione del vetromattone e recenti applicazioni*. Firenze: Alinea, 2010. ISBN 978-886-0555-274.
- [3] SCHITTICH, Christian et al. *Glass construction manual*. 2nd ed., revised and expanded. Basel: Birkhäuser, 2007. ISBN 978-376-4381-226.
- [4] HLAVÁČ, Jan. *Základy technologie silikátů*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1981.
- [5] WILLSEY, Adam. 3 Common Glass Types: Properties and Applications. In: *Kopp Glass* [online]. 2015 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.koppglass.com/blog/3-common-glass-types-properties-applications/>
- [6] ČSN EN 572-1:2012: *Sklo ve stavebnictví – Základní výrobky ze sodnovápenatokřemičitého skla – Část 1: Definice a obecné fyzikální a mechanické vlastnosti*. 2012.
- [7] ČSN EN 1993-1-1:2011 ed.2: *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. 2011.
- [8] ČSN EN 1992-1-1:2011 ed.2: *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. 2011.
- [9] HALDIMANN, Matthias, Andreas LUIBLE a Mauro OVEREND. *Structural use of glass*. 1. Zürich, Switzerland: International Association for Bridge and Structural Engineering, c2008, 215 p. ISBN 38-574-8119-6.
- [10] THE INSTITUTION OF STRUCTURAL ENGINEERS. *Structural use of glass in buildings*. London: SETO, 1999. ISBN 18-742-6651-4.
- [11] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery: výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0617-6.
- [12] *Stavební hmoty* [online]. 3. el. vyd. Praha: Luboš Svoboda, 2013 [cit. 2017-01-08]. ISBN 978-80-260-4972-2. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodasl/sh/>
- [13] HÁJEK, Petr a Ctislav FIALA. *KONSTRUKCE POZEMNÍCH STAVEB – komplexní přehled: Svislé nosné konstrukce* [online]. In: . Praha, 2011 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/KPKP/04_KPKP_svisle_konstrukce-cast2.pdf
- [14] VRTAL, Roman. *METODY POUŽÍVANÉ PŘI DIAGNOSTICE ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ*. Brno, 2012. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=58261. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Petr Žitň
- [15] ČSN EN 998-1:2011 ed.2: *Specifikace malt pro zdivo – Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky*. 2011.
- [16] ČSN EN 998-2:2011 ed.2: *Specifikace malt pro zdivo – Část 2: Malta pro zdění*. 2011.
- [17] FALCONNIER, Gustave. *Glass building block*. Spojené státy americké. US 402073 A. Uděleno 23. 04. 1889.
- [18] PENNYCUICK, James G., *DESIGN FOR A VAULT-LIGHT*. Spojené státy americké. US 568789 A. Uděleno 06. 10. 1896.

- [19] PENNYGUICK, James G. *Device for illuminating basements and dark rooms*. Spojené státy americké. US 583580 A. Uděleno 01. 06. 1897.
- [20] KRSEK, Martin. Luxfera. In: *Český rozhlas Sever* [online]. 2010 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/sever/severoceskeznacky/_zprava/luxfera-854839
- [21] *GENERAL CATALOGUE*. Seves S.p.A., 2014. Dostupné také z: <http://www.sevesglassblock.com/usr/download/eng/catalogo-generale-2014.pdf>
- [22] LUXFERY - je to možné i bez malty. In: *České stavby.cz* [online]. LUXFERY CZ, 2007 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.ceskestavby.cz/clanky/luxfery-je-to-mozne-i-bez-malty-3494.html>
- [23] *EZYLAY SILIKON SYSTÉM: JEDNODUCHÝ NÁVOD K MONTÁŽI*. GLASS BLOCKS, s.r.o. Dostupné také z: http://www.luxfery.cz/files/gb_manual-ezylay.pdf
- [24] PRE-CAST PANELS. In: *New age glass* [online]. New Age Glass, 2012 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.newageglass.co.uk/glass-block-services/details/pre-cast-pavement-lights>
- [25] SHAPIRO, Julie. He who builds with glass bricks may do it in Tribeca. *The Newspaper of Lower Manhattan* [online]. 2009, 21(41) [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: http://www.downtownexpress.com/de_304/hewhobuilds.html
- [26] The Glass Atelier. In: *The office of Joseph Pell Lombardi Architect* [online]. 2009 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: http://www.josephpellombardi.com/?residential_page=the-glass-atelier
- [27] Popis Mattone Poesia. *Glass Blocks* [online]. Glass Blocks, 2009 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.poesia.cz/technicke-info/>
- [28] VetroPieno. *Glass Blocks* [online]. SEVES GLASSBLOCK [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.sevesglassblock.com/vetropieno.html>
- [29] *The Open Wall Project* [online]. Venice, 2009 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://openwallproject.com/>
- [30] *Shan Shan Sheng* [online]. East West Art Studio [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.shanshansheng.com/exhibitions.php>
- [31] BARCEX. Monumento 11-M, estación de Atocha, Madrid. In: *Wikimedia Commons* [online]. 2007 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Madrid_-_Puerta_de_Atocha_-_Monumento_11-M_-_20070324a.jpg
- [32] PAECH, Christoph a Knut GÖPPERT. Innovative Glass Joints - The 11 March Memorial in Madrid. In: VEER, Fred, BOS, Freek a Christian LOUWER, ed. *Challenging glass*. Amsterdam, The Netherlands: Delft University Press, c2008, s. 111-118. ISBN 978-1-58603-866-3.
- [33] FREARSON, Amy. Optical Glass House by Hiroshi Nakamura & NAP. In: *Dezeen* [online]. London: Dezeen, 2013 [cit. 2016-06-23]. Dostupné z: <http://www.dezeen.com/2013/01/27/optical-glass-house-by-hiroshi-nakamura-nap/>
- [34] NAKAMURA, Hiroshi. Hiroshi Nakamura & NAP: Optical Glass House. In: *Designboom* [online]. Hiroshima, 2013 [cit. 2017-02-08]. Dostupné z: <http://www.designboom.com/architecture/hiroshi-nakamura-nap-optical-glass-house/>
- [35] Crown Fountain. In: *Wikipedia* [online]. 15 February 2017 06:41 UTC [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Crown_Fountain&oldid=765581799
- [36] HILL, John. Crown Fountain. In: *A Daily Dose of Architecture* [online]. 2005 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://archidose.blogspot.cz/2005/03/crown-fountain.html>

- [37] In: *Chicago Public Library* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://cdm16818.contentdm.oclc.org/cdm/search/collection/mpu/searchterm/Crown%20Fountain/field/book/mode/exact/conn/and/order/origin/>
- [38] OIKONOMOPOULOU, Faidra, Frederic VEER, Rob NIJSSE a Kees BAARDOLF. A completely transparent, adhesively bonded soda-lime glass block masonry system. *Journal of Facade Design and Engineering*. 2015, 2(3-4), 201-221. DOI: 10.3233/FDE-150021. ISSN 2213302x. Dostupné také z: <http://www.medra.org/servlet/aliasResolver?alias=iospress>
- [39] Crystal Houses / MVRDV. In: *ArchDaily* [online]. 2016 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.archdaily.com/785923/crystal-houses-mvrdv>
- [40] SNIJDER, Ate., Joris SMITS, Telesilla BRISTOGIANNI a Rob NIJSSE. *Design and Engineering of a Dry Assembled Glass Block Pedestrian Bridge*. Genth: Challenging Glass Conference Proceedings, 2016, Vol. 5 (2016): Challenging Glass 5. ISBN 978-90-825-2680-6. Dostupné z: doi:10.7480/CGC.5.2281
- [41] OIKONOMOPOULOU, Faidra, Telesilla BRISTOGIANNI, Lida BAROU, Erwin JACOBS, Giulia FRIGO, Frederic VEER a Rob NIJSSE. *Interlocking cast glass components, Exploring a demountable dry-assembly structural glass system*. Heron. 2018, 63(1), 35.
- [42] AURIK, Mike. *Structural Aspects of an Arched Glass Masonry Bridge*. Delft, 2017, 185 s. Dostupné také z: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:312c4015-a08a-41db-b59f-00971597b4b8/datastream/OBJ/download>. Diplomová práce. Delft University of Technology. Vedoucí práce Rob Nijse.
- [43] OIKONOMOPOULOU, Faidra, Telesilla BRISTOGIANNI, M. VAN DER VELDEN a Konstantin IKONOMIDIS. The adhesively-bonded glass brick system of the Qaammat Pavilion in Greenland: From research to realization. *Architecture, Structures and Construction* [online]. [cit. 2022-04-22]. ISSN 2730-9886. Dostupné z: doi:10.1007/s44150-022-00031-2
- [44] COMPTON, Nick. *Greenland's Qaammat Pavilion for Unesco celebrates land and people* [online]. 2021 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://www.wallpaper.com/architecture/qaammat-pavilion-konstantin-ikonomidis-greenland-denmark>
- [45] LOURENÇO, Paulo José BRANDÃO BARBOSA. *Computational Strategies for Masonry Structures*. Delft: Delft University Press, 1996, 210 s. ISBN 90-407-1221-2. PhD Thesis. Delft University of Technology. Vedoucí práce Johan Blaauwendraad.
- [46] ČSN EN 1996-1-1+A1. *Navrhování zděných konstrukcí: Část 1-1: Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce*. 1. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [47] ČSN EN 1052-3: *Zkušební metody pro zdivo - Část 3: Stanovení počáteční pevnosti ve smyku*. 1. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [48] ČSN EN 1015-11, *Zkušební metody malt pro zdivo: Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdlých malt v tahu za ohybu a v tlaku*, 2000. Český normalizační institut.
- [49] ČSN EN 13412, *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Zkušební metody - Stanovení modulu pružnosti v tlaku*, 2007. Český normalizační institut.
- [50] ČSN EN 1052-1, *Zkušební metody pro zdivo: Část 1: Stanovení pevnosti v tlaku*, 1999. Český normalizační institut.

- [51] ČSN EN 1052-2, *Zkušební metody pro zdivo: Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu*, 2000. Český normalizační institut.
- [52] NAGARAJAN, T., Selvakumar VISWANATHAN, Sinthiya RAVI, V. SRINIVAS a Premavathi NARAYANAN. Experimental Approach to Investigate the Behaviour of Brick Masonry for Different Mortar Ratios. In: *International Conference on Advances in Engineering and Technology (ICAET'2014) March 29-30, 2014 Singapore*. International Institute of Engineers, 2014, 2014-03-29, s. 7. ISBN 9789382242857. Dostupné z: doi:10.15242/IIE.E0314167
- [53] NARAYANAN, Sambu Potty a M. SIRAJUDDIN. Properties of Brick Masonry for FE modeling. *American Journal of Engineering Research (AJER)*. 2013, 1, 6-11. ISSN 2320-0847. Dostupné také z: <http://www.ajer.org/papers/rase-2013/volume-1/B120130611.pdf>
- [54] BINDA, L., A. FONTANA a G. FRIGERIO. Mechanical behaviour of brick masonries derived from unit and mortar characteristics. *Brick and block masonry*. Dublin: Elsevier, 1988, 1, 205–216. Dostupné také z: <http://www.hms.civil.uminho.pt/ibmac/1988/205.pdf>
- [55] FANDERLÍK, Ivan. *Vlastnosti skel*. Praha: Informatorium, 1996. Sklářská knihovna. ISBN 80-854-2791-5.
- [56] WURM, Jan. *Glass structures: design and construction of self-supporting skins*. Basel: Birkhäuser, c2007. ISBN 978-3-7643-7607-9.
- [57] *Protokol o zkoušce: Evidenční číslo 74/2015*. IKATES, 2015, 5 s.
- [58] ČSN 74 3305. *Ochranná zábradlí*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [59] SOKOL, Zdeněk a Martina ELIÁŠOVÁ. Performanclong sharp shards the toughenede of glass brick wall exposed to fire. *Structures and Architecture: Bridging the Gap and Crossing Borders*. CRC Press, 2019, 2019-7-8, 1, 638-645. ISBN 9781315229126. ISSN 2643-6698. Dostupné z: doi:10.1201/9781315229126-76
- [60] SOLID186 Element Description: 3-D 20-Node Structural Solid. *Ansys help.ansys.com* [online]. [cit. 2022-01-21]. Dostupné z: https://ansyshelp.ansys.com/account/secured?returnurl=/Views/Secured/corp/v221/en/ans_elem/Hlp_E_SOLID186.html?q=solid186

14 PUBLIKACE AUTORA

- [1] FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Mechanical properties of solid glass bricks. In: *MODERN BUILDING MATERIALS, STRUCTURES AND TECHNIQUES MBMST 2019*. The 13th International Conference Modern Building Materials, Structures and Techniques, Vilnius, 2019-05-16/2019-05-17. VGTU Press, 2019. s. 47-52. ISSN 2029-9915. ISBN 978-609-476-197-3. DOI [10.3846/mbmst.2019.033](https://doi.org/10.3846/mbmst.2019.033). Dostupné z: http://webu3.vgtu.lt/uni/stf/mbmst/47-52_MBMST_033.pdf
- [2] FÍLA, Jiří Tlaková zkouška pilíře zděného z plných skleněných cihel. In: *STUDNIČKA, Jiří a Jiří FÍLA, eds. Sborník semináře doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí 2019*. Seminář doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí, Praha, 2019-02-05/2019-09-16. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019. s. 53-59. ISBN 978-80-01-06601-0.
- [3] *STUDNIČKA, Jiří a Jiří FÍLA, eds. Sborník semináře doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí 2019*. Praha, 2019-02-05/2019-09-16. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019. ISBN 978-80-01-06601-0

- [4] FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Abstract of: Experimental Investigation of Mortar Mechanical Properties for Glass Brick Masonry. In: LOUTER, Christian. et al., eds. *Challenging Glass 6 - International Conference on the Architectural and Structural Application of Glass*. Challenging Glass 6, Delft, 2018-05-17/2018-05-18. Delft: TU Delft, 2018. sv. 6. ISBN 978-94-6366-044-0.
- [5] FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Performance of the compressed pillar made of solid glass bricks in comparison with other materials. In: CRUZ, Paulo J.J., ed. *Structures and Architecture: Bridging the Gap and Crossing Borders*. 4th International Conference on Structures and Architecture, Lisabon, 2019-07-24/2019-08-26. Leiden: CRC Press/Balkema, 2019. s. 611-618. sv. 1. ISBN 978-1-138-03599-7. DOI [10.1201/9781315229126-73](https://doi.org/10.1201/9781315229126-73).
- [6] FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Solid glass bricks masonry - material properties of bricks and mortar. In: *Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies III: Proceedings of the 3rd International Conference on Engineering Sciences and Technologies*. 3rd International Conference on Engineering Sciences and Technologies, Tatranské Matliare, 2018-09-12/2018-09-14. Boca Raton: CRC Press, 2019. s. 75-80. ISBN 9780367075095.
- [7] SOKOL, Zdeněk, Martina ELIÁŠOVÁ a Jiří FÍLA. Shear Strength of Bed Joints of Glass Brick Masonry. In: DA SILVA, L., ed. *Book of Abstracts of 12th European Adhesion Conference and 4th Luse-Brazilian Conference on Adhesion and Adhesives*. European Adhesion Conference and Luso-Brazilian Conference on Adhesion and Adhesives, Lisabon, 2018-09-05/2018-09-07. Publindústria, Produção de Comunicação, Lda., 2018. s. 292-294. ISBN 978-989-8927-24-8.
- [8] FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Experimental analysis of glass bricks and mortar used for glass bricks masonry. In: *ESaT 2018*. 3rd International Conference on Engineering Sciences and Technologies, Tatranské Matliare, 2018-09-12/2018-09-14. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Stavebná fakulta, 2018. ISBN 978-80-553-2982-6.
- [9] FÍLA, Jiří Zdivo z plných skleněných cihel. In: STUDNIČKA, Jiří a Jiří FÍLA, eds. *Sborník semináře doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí 13.2. a 20.9. 2018*. Seminář doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí, Praha, 2018-09-20. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, 2018. s. 27-30. ISBN 978-80-01-06448-1.
- [10] FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Experimental investigation of mortar mechanical properties for glass brick masonry. *Glass Structures & Engineering*. 2019, 4(1), 127-141. ISSN 2363-5142. DOI [10.1007/s40940-018-0085-6](https://doi.org/10.1007/s40940-018-0085-6).
- [11] STUDNIČKA, Jiří a Jiří FÍLA, eds. *Sborník semináře doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí 13.2. a 20.9. 2018*. Praha, 2018-09-20. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, 2018. ISBN 978-80-01-06448-1.
- [12] ELIÁŠOVÁ, Martina, Zdeněk SOKOL a Jiří FÍLA. *Zdivo ze skleněných cihel - Zkoušky adheze malt, zkoušky malt, tlakové zkoušky a předběžný numerický model*. [Výzkumná zpráva] 2018.
- [13] FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Glass Masonry - Experimental Verification of Bed Joint under Shear. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 3rd International Conference on Innovative Materials, Structures and Technologies, Riga, 2017-09-27/2017-09-29. Bristol: IOP Publishing Ltd, 2017. sv. 251. ISSN 1757-899X. DOI [10.1088/1757-](https://doi.org/10.1088/1757-)

- [899X/251/1/012097](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/251/1/012097). Dostupné z: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/251/1/012097/pdf>
- [14] FÍLA, Jiří Smykové zkoušky zdiva z plných skleněných cihel. In: STUDNIČKA, Jiří a Jiří FÍLA, eds. *Sborník semináře doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí 16.2. a 26.9. 2017*. Seminář doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí, Praha, 2017-02-16. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, 2017. s. 11-12. ISBN 978-80-01-06167-1.
- [15] STUDNIČKA, Jiří a Jiří FÍLA, eds. *Sborník semináře doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí 16.2. a 26.9. 2017*. Praha, 2017-02-16. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, 2017. ISBN 978-80-01-06167-1.
- [16] SOKOL, Zdeněk, Jiří FÍLA a Martina ELIÁŠOVÁ. Load bearing test of wall from hollow glass blocks using Vitralock installation system. In: FUIS, V., ed. *Engineering Mechanics 2017 - Book of full texts*. Engineering Mechanics 2017, Svatka, 2017-05-15/2017-05-18. Brno: Brno University of Technology, 2017. s. 902-905. ISSN 1805-8248. ISBN 978-80-214-5497-2.
- [17] ELIÁŠOVÁ, Martina, Zdeněk SOKOL a Jiří FÍLA. *Zdivo ze skleněných cihel - Smykové zkoušky spojovacích malt, zkoušky malt v tahu za ohybu a v tlaku*. [Výzkumná zpráva] 2016.
- [18] FÍLA, Jiří, Martina ELIÁŠOVÁ a Zdeněk SOKOL. Smykové zkoušky zdiva z plných skleněných cihel. In: *Doktorandská konference k 95. výročí Kloknerova ústavu*. Praha - NTK,, 2016-09-22. Praha: ČVUT. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2016. s. 23-30. ISBN 9788001060063.
- [19] ELIÁŠOVÁ, Martina, Zdeněk SOKOL a Jiří FÍLA. *Zatěžovací zkouška stěny z dutých skleněných tvárnic*. [Výzkumná zpráva] Duchcov: Vitrablok s.r.o., 2016. Zpráva č. 2.
- [20] STUDNIČKA, Jiří a Jiří FÍLA, eds. *Sborník semináře doktorandů katedry ocelových a dřevěných konstrukcí 18.2. a 22.9. 2016*. Praha, 2016-02-18. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, 2016. ISBN 978-80-01-05963-0.
- [21] ELIÁŠOVÁ, Martina, Zdeněk SOKOL a Jiří FÍLA. *Smykové zkoušky spojovacích malt pro zdivo ze skleněných cihel*. [Výzkumná zpráva] 2016. Zpráva č. 1.

15 PŘÍLOHY

PŘÍLOHA A TABULKY

A.1. Smykové zkoušky

Tab. 15.1: Souhrn výsledků

Materiál	Úprava povrchu	Tloušťka spár ^a [mm]	Počet těles [ks]	Síla při porušení F_{max}^a [kN]	Napětí při porušení T_{max}^a [MPa]
Trass-Natustein Mörtel (Malta 1)	Bez úpravy	11	4	0 ^b	0 ^b
	Pískované	12	3	23,42	0,435
Vetromalta (Malta 2)	Bez úpravy	11	3	0 ^b	0 ^b
	Pískované	13	4	13,38	0,249
Epoxidová pryskyřice	Bez úpravy	1	2	44,27	1,564
Epoxidová pryskyřice s plnivem	Bez úpravy	1	1	75,52	3,255
Fixoglass (Malta 3)	Bez úpravy	13	3	1,50	0,028
	Pískované	12	3	13,17	0,245
Bílé flexibilní elastické lepidlo (Lepidlo na dlažbu 1)	Bez úpravy	1	4	42,49	0,790
		4	1	23,23	0,432
		5	4	7,90	0,147
		12	2	0,76	0,014
		15	1	0 ^b	0 ^b
Flexibilní elastické lepidlo (šedé) (Lepidlo na dlažbu 2)	Bez úpravy	12	3	0,21	0,004
Nivoplan + Planicrete	Bez úpravy	3	2	56,24	1,045

(Malta 4)		7	2	32,01	0,595
		11	12	3,83	0,071
		13	4	5,02	0,093
		15	6	0 ^b	0 ^b
		16	2	0 ^b	0 ^b
Keraquick + Latex Plus (Malta 5)	Bez úpravy	2	2	135,25	2,514
		6	2	91,62	1,703
Vetromalta + Planicrete (Malta 6)	Bez úpravy	4	7	13,69	0,255
		5	12	19,43	0,361
		7	4	6,90	0,128
		11	3	14,66	0,273
Araldite® 2018	Bez úpravy	1	1	91,37	1,698

^a Hodnoty uvedené v tabulce jsou průměrné hodnoty zkoušených těles

^b Hodnoty nebylo možné zjistit, protože se tělesa rozpadla již při manipulaci

A.1. Zkoušky adheze

Tab. 15.2: Souhrn výsledků zkoušky adheze malt / lepidel ke sklu

Označení tělesa	Materiál	Tloušťka spáry [mm]	Maximální síla F_{\max}^a [kN]	Místo porušení ^b	Napětí σ [MPa]
T-H5-01	Lepidlo na dlažbu Knauf bílý	1	3,8	H	0,276
T-H5-02			4,6	H	0,335
T-H5-03			3,1	H	0,224
T-H5-04			2,7	S	0,198
T-H5-05		5	0,7	H	0,055
T-H5-06			0,8	S	0,059
T-H5-07			0,9	S	0,069
T-H5-08			0,9	H	0,066
T-H7-01	Nivoplan + Planicrete	10	0 ^a	H	0 ^a
T-H7-02			0 ^a	H	0 ^a
T-H7-03			0 ^a	H	0 ^a

T-H7-04			0 ^a	H	0 ^a
T-H7-05			0 ^a	H	0 ^a
T-H7-06			5,6	S	0,409
T-H9-01	Vetromalta + Planicrete	3	6,4	H	0,468
T-H9-02			6,4	Kombi.	0,468
T-H9-03			5,7	H	0,416
T-H9-04			3,9	Kombi.	0,285
T-H9-05			4,3	H	0,314
T-H9-06			2,0	S	0,146
T-H9-07		6	2,0	H	0,146
T-H9-08			2,5	H	0,183
T-H9-09			0,5	H	0,037
T-H9-10			0 ^a	H	0 ^a
T-H9-11			0 ^a	H	0 ^a
T-H9-12			0 ^a	H	0 ^a
T-H9-13		4	3,7	H	0,270
T-H9-14			1,5	H	0,110
T-H9-15			0 ^a	H	0 ^a
T-H9-16			0 ^a	H	0 ^a
T-H9-17			4,5	H	0,329
T-H9-18			2,0	H	0,146

^a Hodnoty nebylo možné zjistit, protože se tělesa rozpadla již při manipulaci

^b H znamená porušení v horní spáře, S porušení ve spodní spáře a kombi porušení kombinované

A.1. Materiálové zkoušky malt

Tab. 15.3: Souhrn výsledků zkoušky v tahu za ohybu pro trámečky z malt / lepidel

Označení trámečku	Materiál	Maximální síla F_{max} [kN]	Průřezový modul W [mm ³]	Napětí σ [MPa]
M1-01	Malta 1	2,6	10999,8	5,91
M1-02		3,0	10958,4	6,84
M1-03		2,4	10520,7	5,70
M2-01	Malta 2	3,8	10866,9	8,74
M2-02		4,3	11011,4	9,76
M2-03		3,8	11369,6	8,36
M4-01	Malta 4	2,2	10677,0	5,15
M4-02		2,6	10634,2	6,11

M4-03		2,5	10783,5	5,80
M5-01	Lepidlo na dlažbu 1	3,1	11096,3	6,98
M5-02		2,9	10827,4	6,70
M5-03		3,4	11208,9	7,58
M6-01	Lepidlo na dlažbu 2	3,7	10935,3	8,46
M6-02		3,3	11025,1	7,48
M6-03		2,8	10927,3	6,41
M9-01	Malta 6	4,6	10933,3	10,51
M9-02		4,6	10933,3	10,47
M9-03		4,8	10933,3	10,90
M9-04		4,5	11767,0	9,65
M9-05		4,2	11767,0	8,83
M9-06		4,4	12642,0	8,77

Tab. 15.4: Souhrn výsledků zkoušky v tlaku pro trámečky z malt / lepidel

Označení vzorku	Materiál	Maximální síla F_{max} [kN]	Plocha průřezu A [m ²]	Napětí σ [MPa]
M1-01-01	Malta 1	30,6	1600	19,13
M1-01-02		28,5	1600	17,81
M1-02-01		31,4	1600	19,63
M1-02-02		30,6	1600	19,13
M1-03-01		28,7	1600	17,94
M1-03-02		30,5	1600	19,06
M2-01-01	Malta 2	53,2	1600	33,25
M2-01-02		58,1	1600	36,31
M2-02-01		65,1	1600	40,69
M2-02-02		61,6	1600	38,50
M2-03-01		67,1	1600	41,94
M2-03-02		54,1	1600	33,81
M4-01-01	Malta 4	29,0	1600	18,13

M4-01-02		27,2	1600	17,00
M4-02-01		29,5	1600	18,44
M4-02-02		25,4	1600	15,88
M4-03-01		28,9	1600	18,06
M4-03-02		30,9	1600	19,31
M5-01-01	Lepidlo na dlažbu 1	37,6	1600	23,50
M5-01-02		32,5	1600	20,31
M5-02-01		36,7	1600	22,94
M5-02-02		34,6	1600	21,63
M5-03-01		43,6	1600	27,25
M5-03-02		38,1	1600	23,81
M6-01-01	Lepidlo na dlažbu 2	44,8	1600	28,00
M6-01-02		45,0	1600	28,13
M6-02-01		43,3	1600	27,06
M6-02-02		37,8	1600	23,63
M6-03-01		41,5	1600	25,94
M6-03-02		48,6	1600	30,38
M9-01-01	Malta 6	47,2	1600	29,52
M9-01-02		43,5	1600	27,17
M9-02-01		44,7	1600	27,96
M9-02-02		43,8	1600	27,40
M9-03-01		35,1	1600	21,94
M9-03-02		46,0	1600	28,73
M9-04-01		35,9	1600	22,43
M9-04-02		40,0	1600	24,99
M9-05-01		39,2	1600	24,48
M9-05-02		41,9	1600	26,19
M9-06-01		40,8	1600	25,48
M9-06-02		41,5	1600	25,32

PŘÍLOHA B TECHNICKÉ LISTY K POUŽITÝM SPOJOVACÍM MATERIÁLŮM

B.1. Trass-Natustein Mörtel

HEY'DI ABDICHTUNGSTECHNIK

① **Trass- & Natursteinmörtel**

Zur Mauersanierung und Verlegung von Natursteinen

Werk trockenmörtel nach DIN 18 557 zum Egalisieren unebener Untergründe, für die Verlegung von Natursteinplatten und keramischen Belägen und zur Verwendung als Mauermörtel.

Anwendungsgebiete: HEY'DI Trass- & Natursteinmörtel ist ein werkseitig vorgemischter Mörtel zur Verwendung als Vorspritz-, Ausgleichs-, Fugen- und Putzmörtel, als Verlegemörtel für Natursteinplatten, Stufen, Fliesen und keramische Belege und als Mauer- und Vormauermörtel für Mauerwerk MG III.

Vorbereitung des Untergrundes: Der mineralische Untergrund muss saugfähig, fest, tragfähig und frostfrei sein. Sowie frei von Gips, Bitumen, Fetten und Ölen, Staub, Farben und jeglichen Trennschichten, Zementleimschichten, Kalk- und Binderanstriche sind abzufräsen oder sandzustrahlen.

Der Untergrund muss rechtzeitig so vorgelassen werden, dass die Oberfläche zum Zeitpunkt der Verarbeitung des Trass- & Natursteinmörtels mattsatt ist.

Verarbeitung: Trass- & Natursteinmörtel kann von Hand oder in einer normalen Mörtelmischmaschine (Freifall-, Zwangs- oder Durchlaufmischer) angemischt werden.

Putzen: Trass- & Natursteinmörtel ist in zwei Lagen aufzubringen; die erste Putzschicht muss mindestens 10 mm dick sein und wird aufgeraut. Je nach Witterung ist je Millimeter Putzschichtdicke mit 1 Tag Standzeit zu rechnen. Die zweite Putzschicht wird in einer Dicke von ca. 10 mm aufgetragen und plan abgezogen.

Abhängig von der Art der weiteren Bearbeitung wird entweder aufgeraut oder abgerieben (gefilit). Putzuntergründe sind entsprechend DIN 18 350 und DIN 18 550 zu prüfen.

Mauern: Die Wände sind vollfüggig zu vermauern, Stöße anzuerfen und eventuelle Mörtelrassen mit Trass- & Natursteinmörtel zu verfüllen. Herausquellenden Trass- & Natursteinmörtel abstreifen. Bei Sichtmauerwerk den Trass- & Natursteinmörtel anstreifen lassen und mit Fugesein, Schlauch o. ä. glätten und sofort anschließend das Mauerwerk mit Wasser reinigen.

Verlegen: In einem sauberen Gefäß werden ca. 6,0 l Wasser vorgelegt und mit 40 kg Trass- & Natursteinmörtel mittels geeignetem Rührwerk zu einem keilengerechten Mörtel angemischt.

Keramische Beläge und Naturwerkstein sind vollflächig in Trass- & Natursteinmörtel zu verlegen. Die Fugen sind erst nach Austrocknung des Trass- & Natursteinmörtels zu schließen.

Die einschlägigen Normen und Richtlinien bei der Verlegung sind einzuhalten. Im Zweifelsfall bitte eine Probestelle anlegen.

Trass- & Natursteinmörtel kann bei Temperaturen ab +5 °C verarbeitet werden.

Folgearbeiten: Trass- & Natursteinmörtel ist während der Abbindung vor vorzeitiger Austrocknung, Regen, starker Sonneneinstrahlung, starkem Wind und besonders vor Frost zu schützen. Gegebenenfalls ist die Oberfläche 2 bis 3 Tage durch Vorhängen einer PE-Folie oder durch Nachwässern vor zu schneller Austrocknung zu schützen.

Verbrauch: ca. 13 kg/m² je Zentimeter Schichtstärke

Reinigung: Werkzeug und verschmutzte Stellen sofort mit Wasser reinigen. Ausgetrocknete Rückstände mit HEY'DI Kalklöser oder mechanisch entfernen.

Lagerung: Kühl und trocken. Originalverpackt ca. 12 Monate haltbar.

Chromatarm nach EU-VO 1907/2006 (REACH).
Komplett-Information siehe Technisches Merkblatt 731 (www.bostik.de).

Giscode ZP1


Inh. 40 kg
Art.-Nr. 126450

Bostik Bostik GmbH · D-33829 Borgholzhausen
Tel. 05425-801-0 · Fax -140 www.bostik.de

REPASACK 1-005-92

4 0269231601489

B.2. Vetromalta

<p style="text-align: center;">CE 1020</p> <p style="text-align: center;">SAKRET CZ k.s. Ledčice 150 277 08 14</p> <p style="text-align: center;">EN 998-2:2010 VETROMALTA bílá Prohlášení o vlastnostech č.: PV/CZ/100/2014</p> <p style="text-align: center;">Návrhová obyčejná malta pro zděnat k použití ve venkovních částech.</p> <p>Pevnost v tlaku: Třída M 10 Počáteční pevnost ve smyku: 0,15 N/mm² (tabulková hodnota) Obsah chloridů: < 0,1 hm. % Reakce na oheň: třída A1 Absorpce vody: 0,4 kg/m².min.^{0,5} (tabulková hodnota) Propustnost vodních par: μ 15/35 (tabulková hodnota) Tepelná vodivost (λ_{0,075}): 0,83 W/mK (tabulková průměrná hodnota; P=50%) Trvanlivost (zmrazování/rozmrzování): posouzení podle ustanovení platného v místě zamýšleného použití malty.</p>	<p style="text-align: center;"></p> <p>POUŽITÍ: VETROMALTA je finální malta speciálně vyvinuta pro pokládání a spárování skleněných tvárnic. Malta je vhodná výhradně pro zdi v interiéru a exteriéru.</p> <p>NAVOD K POUŽITÍ: Pro výrobu malty je zapotřebí čistá voda v množství, které odpovídá 20-22% suché hmoty. Vlijte vodu do vhodné nádoby a vmíchejte maltu. Důkladně směs rozmíchejte tak, aby vznikla homogenní hmota bez žmolků. Nechejte maltu 10 minut odstát a poté ji ještě jednou důkladně promíchejte. Maltu nanášejte vhodným nástrojem a používejte obkladačské křížky značky Seves tak, aby byly skleněné tvárnice umístěny do přesné polohy. Přebytečnou maltu odstraňte ze skleněných tvárnic ještě předtím, než zaschne. Jakmile malta uschne, odstraňte vnější části křížků a začněte s vyplňováním spár. Přitom vpravujte maltu VETROMALTA pomocí spárovacího hladítka <i>do spár, které byly předtím zbaveny prachu a zbytků malty.</i> Nechejte maltu cca. 10 minut zatuhnout a poté začněte s čištěním. Je-li stěna větší než 15 m², jsou zapotřebí dilatační spáry, které jsou vyplněny elastickým materiálem.</p> <p>SPOTREBA: 20 kg/m² pro pokládání a spárování.</p> <p>SKLADOVÁNÍ: Materiál musí být skladován na suchem místě a v uzavřeném originálním obalu. Při správném skladování činí doba použitelnosti 6 měsíců.</p> <p>POZOR: Malta má být používána pouze při teplotách mezi +5°C a +25°C. Při použití satinovaných skleněných tvárnic odstraňte ochrannou folii až po vyspárování.</p> <p>ZÁRUKA: Jelikož společnost Seves S.p.A. nemá kontrolu nad právním skladováním, správným provedením, kvalitou a zpracováním ani nad výhradním používáním vhodných materiálů, není za maltu přebírána žádná záruka, jakmile je použita ke stavbě.</p> <p><i>Další informace můžete nalézt v technickém listu nebo dotazem u technické zákaznické služby společnosti Seves S.p.A.</i></p>
--	--

B.3. Fixoglass

Descrizione / Description / Description / Beschreibung		Pesi / Weight / Poids / Gewicht	
		Kg	Ibs.
I	Fixoglass, malta tecnica per la posa dei mattoni di Poesia su strutture verticali. Perfettamente bianca, ottima finitura, e basso assorbimento di acqua.	2,36	55.10
EN	Fixoglass specially design mortar for the installation of bricks, against or as walls. Perfectly white, excellent finish and low absorption of water.	<p>Note</p> <p>I Attenzione: l'uso della malta Fixoglass è destinato esclusivamente ai mattoni e non adatta per le lastre.</p> <p>EN Attention: The use of Fixoglass mortar is intended only for bricks, and not for tiles.</p> <p>FR Attention: Fixoglass est à utiliser uniquement pour les briques, et not pour le plaques.</p> <p>DE Achtung: Fixoglass-Kleber ist nur für die Verlegung von Glasbausteinen geeignet.</p>	
FR	Fixoglass, colle technique pour la pose des briques de Poesia sur structures verticale. Parfaitement blanche, finition parfaite, absorption faible d'eau.		
DE	Fixoglass, techn. Mörtel für die vertikale Verlegung von Poesia Glasbausteinen. Perfektes Weiß, optimales Finish, niedrige Wasseraufnahme.		
Codice articolo / Item number Code Article / Artikelnummer		PSC001	

Usage

	I	EN
Posa Tradizionale/ Standard Pose/ Pose traditionnelle/Traditionelle Verlegung	KG 0,500 per mattone	1.1 lbs. per brick
Posa in Costa/ Upright Pose/ Pose en côte/ Hochkantverlegung	Kg 0,200 per mattone	1/2 lb. per brick
Applicazione/Application/ Application/ Auftragen	Cazzuola e Spatola di Gomma	Trowel and rubber float
Acqua/ Water/ Eau/ Wasser	Miscelare con 15 % d'acqua	Mix 85 % mortar with 15 % water

Certification

REI	60	60
-----	----	----

Technical Data

Densità/ Density/ Densité/ Dichte	1450 Kg/m3	90.52 lbs/ft
Acqua/ Water content/ Quantité d'eau/ Wassergehalt	15%	15%
Dimensione/ Size/ Dimension/ Größe	1,25 mm	0.05 an
Spessore d'applicazione/ Application thickness/ Epaisseur d'application/ Schichtdicke	2-25 mm	0.08-1 in
Copertura/Coverage/ Couverture/ Abdeckung	1,5 Kg/m2 x mm	-
Resistenza alla compressione(28 gg)/ Compression resistance/ Résistance à la compression/ Druckfestigkeit	> 15 N/mm2	-
Resistenza a trazione(28 gg)/ Tensile strength/ Résistance à la traction / Spannung	> 6 N/mm2	-
Resistenza al legame/ Bonding strength over brick/ Résistance au joint/ Verbindungsfestigkeit	> 2 N/mm2	208.8 lb/in2
Tipo rottura/ Type of crack/ Type de cassure/ Bruchart	A	-
Flessibilità/Flexibility/ Flexibilité/ Flexibilität	Si	-
Permeabilità al vapore acqueo/ Steam permeability/ Perméabilité à la vapeur d'eau/ Wasserdampf-Durchlässigkeit	< 20	< 20
Assorbimento acqua/ Water absorption/ Absorption d'eau/ Wasseraufnahme	W2	-
ph	12	12
Tempo d'essiccazione/Drying time/ Temps de séchage/Austrocknungs-Zeit	10,5 h	10.5 h

B.4. Flexibilní lepidlo (bílé)

Použití: Suché mrazuvzdorné cementové lepidlo bílé barvy pro lepení keramických obkladů a dlažeb, vč. velkoformátových, sklokeramiky, skleněných tvárníc, desek z přírodního a umělého kamene, mramoru. Speciálně určené pro lepení dlaždic a obkladů z přírodního bílého kamene, kde zamezuje tvorbě šedého „zakalení“ povrchu. Je vhodné pro vnitřní a i venkovní použití. Vhodné na vytápěnou podlahu. Lze aplikovat v interiérech na všechny běžné podklady, v exteriéru na terasy, balkony, fasády, bazény, apod. **Zpracování:** K rozdělení lepidla se použije čistá pitná voda. Suché lepidlo se smíchá s cca. 1,3 litry vody. Po rozmíchání s vodou se lepidlo nechá 5-10 minut odstát a ještě se znovu krátce promíchá. Takto rozdělané lepidlo je připraveno k použití. Lepidlo se nanese v potřebné vrstvě na celou plochu podkladu hladkou stranou hladítka, poté se vrstva „pročeše“ ozubenou stranou hladítka, přičemž se zuby dotýkají podkladu. Velikost ozubení volíme podle typu a reliéfu lepeného prvku. Do vytvořeného drážkovaného lepidlového lůžka se pokládají obkládačky za současného volíme podle typu a reliéfu lepeného obkladem kompaktně spojily. Předběžné vlhčení obkládaček se neprovádí. Při lepení slinutých dlažeb, mramoru, přírodních kamenů v exteriéru na zvláště namáhaných plochách nanášíme lepidlo na obě lepené plochy tzv. systémem Buttering Floating. Vždy dbejte na to, aby pod dlažbou nebo obkladem nezůstaly vzduchové kapsy. Při lepení neznámého druhu kamene se doporučuje provést zkušební nalepení. Doba po kterou je možné obkladové prvky pokládat do nataženého lepidla (otevřený čas) je cca 30 minut, ale za extrémního tepla a sucha se může tento čas podstatně zkrátit. Proto je nutné před položením prvku vyzkoušet, zda lepicí vrstva vytváří nelepivý škrálop a to nejlépe dotykem prstů. Pokud lepidlo škrálop má, je nutné ho v celé nelepivé ploše seškrábat a znovu natáhnout čerstvě. Provedené obklady stěn se vyspárují nejdříve po jednom dni. Podlahové obklady se vyspárují nejdříve po dvou dnech a po sedmi dnech se mohou plně zatížit. Čisté plochy potřísněné lepidlem ihned omyjte! Před lepením dlažby zapněte podlahové vytápění, ovšem 24 hodin před pokládáním dlažby vytápění vypněte anebo nastavte na 15 °C (pokud je chladné počasí). U větších venkovních ploch nebo vytápěných podlah je třeba vytvořit dilatační spáry, to samé v místě spojení nebo rohové spáry (např. mezi stěnou a podlahou, obkládačkami a dveřním rámem, obkládačkami a dřevem nebo kovem). **Vydatnost:** cca. 2 kg/m² při použití ozubení 6mm. **Skladování:** Materiál zpracujete do 12 měsíců od data výroby uvedeného na obalu. Skladujte v suchém prostředí na dřevěném roštu, chráňte před vzdušnou vlhkostí, max. možná relativní vlhkost vzduchu je 75%. V opačném případě může dojít ke změnám zpracovatelských nebo užitných vlastností produktu. **Pokyny:** Práce neprovádějte za mrazu. Materiál nesmí být aplikován při teplotě vzduchu nebo podkladu nižší než +5 °C a vyšší než 25 °C. Používejte vhodný pracovní oděv, pomůcky a ochranné rukavice. Zamezte styku s kůží a očima. Maximálně zamezte tvorbě a šíření prachu. Maltová směs po rozmíchání s vodou vytváří alkalickou směs. Při práci nejezte, nekuřte. Při zasažení očí vymývejte proudem čisté vody a hned konzultujte s očním lékařem. Akutní ohrožení lidského zdraví se za normálních podmínek používáním nepředpokládá. Vždy se seznamte s informacemi v Bezpečnostním listu tohoto produktu, viz. www.knauf.cz Ve vytvrzeném stavu je materiál fyziologicky a ekologicky nezávadný

CE	
KNAUF Praha, spol. s r.o., Mladoboleslavská 949, CZ - 197 00 Praha 9 – Kbely Česká republika, www.knauf.cz	
05	
0106 Flexkleber Weiss 2013 05 07	
EN 12004:2007+A1:2012	
Zlepšené, deformovatelné cementové lepidlo se sníženým skluzem a prodlouženou dobou zavadnutí – C2TES1	
Lepení všech typů obkladů a dlažeb z hlediska nasákavosti, přírodního a umělého kamene, mramoru, slinutých obkladů a dlažeb pro interiér, exteriér a podlahy s vyšším tepelným namáháním.	
Reakce na oheň	A2-s1, d0
Pevnost spoje	≥ 0,5 N/mm ² ne méně než po 30 min
Doba zavadnutí: tahová přídržnost	≥ 1,0 N/mm ²
Vysoká počáteční tahová přídržnost	≥ 1,0 N/mm ²
Trvalá odolnost	
Vysoká tahová přídržnost po tepelném stárnutí	≥ 1,0 N/mm ²
Vysoká tahová přídržnost po ponoření do vody	≥ 1,0 N/mm ²
Vysoká tahová přídržnost po cyklech zmrazení/rozmrazení	≥ 1,0 N/mm ²
Uvolňování nebezpečných látek	NPD
Zvláštní charakteristika	
Skluz	≤ 0,5 mm
Deformace lepidla při tlaku	≥ 2,5 mm a < 5 mm

B.5. Flexibilní lepidlo (šedé)

Flexkleber

CZ Podklad:
Lepidlo Knauf Flexkleber splňuje vysoké nároky při lepení různých obkladových materiálů na beton, cihly, porobeton a lehký beton, sádkartonové desky, sádrové, vápenocementové a cementové omítky atd. v interiérech i exteriérech. Podklad musí být čistý pevný, bez mastnot a nátěrů.

Příprava podkladů:
Savé podklady a podklady s podlahovým topením natřete nejprve základním nátěrem Knauf Hloubková penetrace. Vodotěsné dřevotřískové desky a nepropustné minerální podklady natřete adhezivním nátěrem Knauf Spezialhaftgrund.

Namíchání:
5 kg lepidla rozmíchejte v cca 1,4 l čisté vody. Po 10 min. zrání znovu promíchejte. Lepidlo je zpracovatelné cca 3 hodiny.

Zpracování:
Na podklad naneste souvislou vrstvu lepidla. Poté „pročešte“ ozubenou špachtlí. Po dobu do 20 minut můžete pokládat dlaždice, během 10 minut můžete ještě opravit chyby. U silně namáhaných podlah a v exteriéru doporučujeme lepidlo nanášet jak na podklad tak na dlažbu či obkladačku. Začně-li se tvořit škrálop (zkouška prstem), naneste nové lepidlo! Lepidlem zašpičnená místa okamžitě očistěte.

Pokyny:
Teplota vzduchu i podkladu nesmí být nižší než +5 °C. Ve fázi tuhnutí chraňte před mrazem. Při podlahovém vytápění je třeba uvést před pokládáním dlažby topení do provozu a 24 hodin před pokládáním vypnout nebo v zimě ztlumit na 15 °C. Nářadí ihned po použití opláchněte vodou. Skladovatelnost: Zpracujte do 12 měsíců, skladujte v suchém prostředí na dřevěném roštu, chraňte před vzdušnou vlhkostí.

CE	
KNAUF Praha, spol. s r.o., Mladoboleslavská 949, CZ - 197 00 Praha 9 - Kbely, Česká republika, www.knauf.cz	
05	
0106_Flexkleber_2013_05_07	
EN 12004:2007+A1:2012	
Zlepšené, deformovatelné cementové lepidlo se sníženým skluzem a prodlouženou dobou zavadnutí - C2TES1	
Lepení všech typů obkladů a dlažeb z hlediska nasákavosti, včetně slinuté pro interiéry, exteriéry a podlahy s vyšším tepelným namáháním.	
Reakce na oheň:	A2-s1, d0
Pevnost spoje	
Doba zavadnutí: tahová přídržnost	≥ 0,5 N/mm ² ne méně než po 30 min
Vysoká počáteční tahová přídržnost	≥ 1,0 N/mm ²
Trvalá odolnost	
Vysoká tahová přídržnost po tepelném stárnutí	≥ 1,0 N/mm ²
Vysoká tahová přídržnost po ponoření do vody	≥ 1,0 N/mm ²
Vysoká tahová přídržnost po cyklech zmrazení a rozmrazení	≥ 1,0 N/mm ²
Uvolňování nebezpečných látek	≤ 0,1 N
Zvláštní charakteristika	
Skluz	≤ 0,5 mm
Deformovatelné lepidlo: průhyb	≥ 2,5 mm a < 5 mm

B.6. Nivoplan

TECHNICKÁ DATA	
SPECIFIKACE VÝROBKU	
Konzistence	prášek
Barva	šedá nebo bílá
Objemová hmotnost sypaná	1 400 kg/m ³
Obsah pevných částic	100%
Skladovatelnost	12 měsíců v původních neporušených obalech. Chránit před vlhkem.
ÚDAJE PRO POUŽITÍ (při +23°C a 50% rel. Vlhkosti vzduchu)	
Mísicí poměr	22 dílů na 100 dílů NIVOPLANu
Objemová hmotnost	1 830 kg/m ³
pH hodnota směsi	cca. 12
Doba zpracovatelnosti	2-3 hodiny
Pracovní teplota	od +5°C do +30°C
Doba vytvrzení před kladením	3-4 hodiny
Max. vrstva	30 mm v jednom kroku
Plná zatížitelnost	po cca. 14 dnech
VÝSLEDNÉ VLASTNOSTI	
Odolnost proti vodě	odolný
Časová stálost	odolný
Odolnost proti olejům a rozpouštědlům	odolný
Odolnost proti kyselinám a zásadám	odolný
Teplotní odolnost	odolný
Schopnost přetvoření	ne
Snášenlivost lepidel	optimální
Pevnost v tahu za ohybu	3,5 MPa
Pevnost v tlaku	6,0 MPa

B.7. Planicrete

TECHNICKÉ VLASTNOSTI (typické hodnoty) při +23°C a 50% r.v.	
SPECIFIKACE VÝROBKU	
Konzistence	tekutý roztok
Barva:	bílá
Hustota (g/cm ³):	1,02
pH:	7
Obsah sušiny (%):	33
ÚDAJE PRO POUŽITÍ	
Mísicí poměr:	viz příslušná tabulka dávkování a spotřeby
Pracovní teplota:	+5° C až +40°C
Konečné vytvrzení:	v závislosti na dávkování
VÝSLEDNÉ VLASTNOSTI	
Složení malty:	cement: Typ 32,5 R II/A-L 900 g plnivo: normový písek 2 700 g přísada: Planicrete 112,5 g Voda: 292,5 g
Hustota směsi (kg/m ³):	2 000
Pevnost v tlaku dle EN 12190 (MPa):	
- po 1 dni:	7
- po 7 dnech:	25
- po 28 dnech:	33
Přidrženost k podkladu dle EN 1542 (MPa):- po 28 dnech:	> 2,0
Odolnost proti vlhkosti:	vynikající
Odolnost proti stárnutí:	vynikající
Odolnost proti rozpouštědlům a olejům:	průměrná
Odolnost proti kyselinám a zásadám:	omezená
Teplotní odolnost:	-30°C - +90°C

B.8. Keraquick

TECHNICKÉ VLASTNOSTI (běžné hodnoty)	
Ve shodě s:	
	<ul style="list-style-type: none"> - evropskou EN 12004 jako C2FT S1 - evropskou EN 12004 jako C2F S2 (při smíchání s Latexem Plus) - ISO 13007-1 jako C2FT S1 - ISO 13007-1 jako C2F S2 (při smíchání s Latexem Plus)
SPECIFIKACE VÝROBKU	
Typ:	prášek
Barva:	tmavě šedá nebo bílá
Objemová hmotnost (kg/m ³):	1400 (šedá); 1200 (bílá)
Obsah sušiny (%):	100
EMICODE:	EC1 R Plus - velmi nízké emise
ÚDAJE PRO POUŽITÍ (při +23°C a 50% rel. vlhkosti)	
Mísicí poměr:	100 dílů prášku s 24-26 hmotnostními díly vody
Konzistence směsi:	pastovitá
Barva:	tmavě šedá nebo bílá
Hustota směsi (kg/m ³):	1 500
pH směsi:	cca 11
Zpracovatelnost:	30 minut
Pracovní teplota:	od +5°C do + 30°C
Doba zavadnutí (dle EN 1346):	15-20 minut
Spárování:	2-3 hodiny
Pochůznost:	2-3 hodiny
Provozní zatížení:	24 hodiny (3 dny jímky a nádrže)
VÝSLEDNÉ VLASTNOSTI	
Přídržnost dle EN 1348 (N/mm ²)	
- počáteční (po 28 dnech):	2,0
- přídržnost po uložení při vyšší teplotě:	1,8
- přídržnost po ponoření ve vodě:	1,0
- přídržnost po mrazových cyklech:	1,0
Přídržnost po 6 hodinách (N/mm ²):	0,8
Odolnost proti kyselinám:	střední
Odolnost proti zásadám:	výborná
Odolnost proti olejům:	výborná
Odolnost proti rozpouštědlům:	výborná
Teplotní odolnost po konečném vyzrání:	od -30°C do +90°C
Deformovatelnost dle EN 12004:	S1 - deformovatelný

B.9. Latex Plus

TECHNICKÁ DATA (typické hodnoty)		
CHARAKTERISTIKA VÝROBKU		
Konzistence	tekutina	
Barva	bílá	
Objemová hmotnost [kg/m ³]	1 040	
Obsah sušiny [%]	34	
Skladovatelnost	12 měsíců v uzavřených původních obalech. Skladujte v suchu a chladu. Chraňte před mrazem!	
Viskozita dle Brookfielda [MPa.s]	20	
Zdravotní závadnost dle EC 88/379	ne	
Hořlavost	ne	
Celní značení	3906 90 00	
VLASTNOSTI SMĚSI KERAQUICK + LATEX PLUS		
Odovídá:	EN 120004 EC Direktiva UEAtc DIN 18156 část 2 BS 5980-1980 type 1 Class AA	
APLIKAČNÍ ÚDAJE (při +23°C a 50% rel. vlhkosti)		
Mísicí poměr	Keraquick šedý 8 - 8,5 kg Latex Plus na 25 kg pytel	Keraquick bílý 7,5 - 8 kg Latex Plus na 23 kg pytel
Konzistence	viskózní pasta	viskózní pasta
Barva	šedá	bílá
Objemová hmotnost [kg/m ³]	1 550	1 550
pH směsi	12	
Zpracovatelnost směsi	30 minut	
Teplota pro zpracování	od +5 do +30°C	
Zpracovatelnost naneseného lepicího tmelu	10 až 15 minut	
Možnost oprav položené dlažby	15 minut	
Pochůznost	po 2-3 hod.	
Spárování položené dlažby	po 2-3 hod.	
Hořlavost	ne	
Zdravotní závadnost dle EC 88/379	ne	
Konečné vytvrzení (na suchém podkladu)	po 24 hod.	
KONEČNÉ VLASTNOSTI		
Odolnost proti vlhkosti	vynikající	
Odolnost proti rozpouštědlům a olejům	vynikající	
Odolnost proti kyselinám a zásadám	špatná	
Teplotní odolnost	od - 30 do +90°C	
Pružnost	vysoká	
Přidržnost (dle EN 1348)		
- počáteční (po 28 dnech při +23°C a 50% rel. vlhkosti)	2,5 MPa	2,5 MPa
- po uložení v teple	2,5 MPa	2,3 MPa
- po uložení ve vodě	1,5 MPa	1,5 MPa
- po cyklech mraz-tání	1,4 MPa	1,2 MPa
Pevnost v tlaku (po 28 dnech)	17,0 MPa	18,0 MPa
Pevnost v tahu za ohybu (po 28 dnech)	7,5 MPa	8,0 MPa

B.10. Aradit 2018



Vantico GmbH

Performance
Polymers

Konstrukční lepidla

®Araldit 2018 (XD 4445 + XD 4446)

Dvoukomponentní lepidlo na bázi polyuretanu.

- Specifické vlastnosti**
- lepí většinu termoplastů
 - houževnaté lepidlo
 - vytvrzuje za pokojové teploty

Použití Araldit 2018 je dvoukomponentní lepidlo, vytvrzující za pokojové teploty, na bázi polyuretanu pro lepení termoplastů.

Technická data

Vlastnost	2018 A (XD 4445)	2018 B (XD 4446)	2018 (směs)
Vzhled	světle opakní tixotropní tekutina	světle opakní tixotropní tekutina	světle opakní tixotropní tekutina
Hustota (g/cm ³)	1,16	1,10	1,13
Viskozita (Pa.s)	11 - 15	3 - 6	8
Doba zpracovat. (100g při 25°C)	-	-	50 min
Skladovatelnost	1 rok	1 rok	-
Bod vzplanutí (°C)	>100	>100	-

Zpracování

Předúprava

Předpokladem pro dosažení pevného a odolného spoje je vhodná předúprava lepených ploch.

Lepené plochy by měly být v každém případě důkladně očištěny od oleje, nečistot a mastnoty, a to pomocí dobrého odmašťovacího prostředku (acetón, trichloroetan atd.)

Nejpevnější a nejodolnější spoje lze získat buď mechanickým zdrsněním nebo chemickým naleptáním odmaštěných povrchů.

Směšovací poměr	Objemové díly	Hmotnostní díly
Araldit 2018A (XD 4445)	100	100
Araldit 2018B (XD 4446)	100	95

Pryskyřice a tvrdidlo by měly být rozmíchány tak, aby vznikla homogenní směs aplikovatelná postupy doporučenými firmou Ciba.

Vlastní aplikace lepidla

Směs pryskyřice a tvrdidla se nanáší buď přímo nebo pomocí špachtle na předupravené plochy.

Nejlepší hodnoty pevnosti ve střihu dosahují lepené spoje s tloušťkou spáry 0,05 – 0,10 mm. Měrný tlak na plochu spoje zaručuje optimální vytvrzení.

Strojní zpracování

Specializované firmy vyvinuly zařízení pro dávkování, míchání a nanášení lepidel, které umožňují zpracování velkých objemů lepidel.
Firma Ciba Vám ráda poradí s výběrem zařízení pro Vaše konkrétní potřeby.

Údržba zařízení

Veškeré nástroje je třeba opláchnout pod horkou vodou s mýdlem dřívě, než mohou vytvrdnout zbytky lepidel. Odstraňování zbytků vytvrzeného lepidla je časově náročná a obtížná práce.

Mají-li být pro čištění použita rozpouštědla jako je aceton, je třeba, aby pracovníci dodržovali obvyklá bezpečnostní opatření a vyhýbali se kontaktu látek s očima a pokožkou.

Doba potřebná k dosažení minimální pevnosti ve stříhu (LSS)

Teplota	°C	10	15	23	40	60	100
Doba vytvrzení	hod	16.5	12	4	-	-	-
LSS > 1 N/mm²	min	-	-	-	45	25	4
Doba vytvrzení	hod	48	20	16	3	-	-
LSS > 10N/mm²	min	-	-	-	-	30	12

Typické vlastnosti po vytvrzení**Normalizované testovací vzorky**

Pokud není uvedeno jinak, byly níže uvedené hodnoty stanoveny zkoušením normalizovaných vzorků získaných plošným spojením proužků hliníkové slitiny o rozměrech 170 x 25 x 1.5 mm. Ve všech případech měl lepený spoj plochu 12.5 x 25 mm
Číselné údaje byly stanoveny na typických výrobních šaržích normalizovanými zkušebními metodami. Uvádějí se pouze jako technické informace a nepředstavují technické (normalizované) parametry výrobku.

Krátkodobé zkoušky**Průměrné pevnosti ve stříhu typických spojů kov-kov (ISO 4587)**

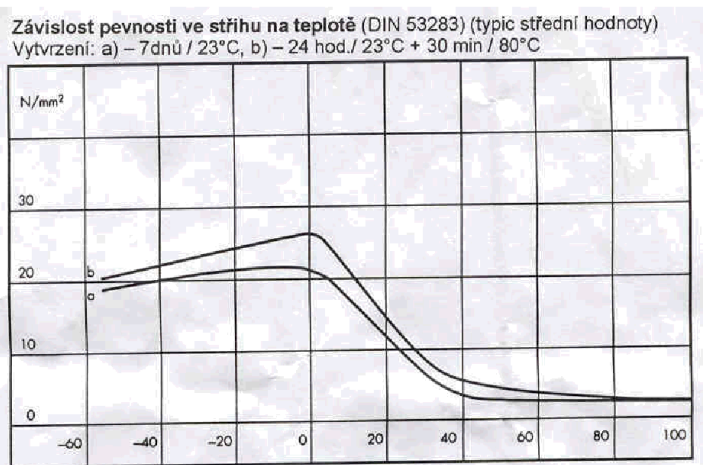
Vytvrzení: 16 hod při 40°C, zkoušeno při 23°C, předúprava pískováním

Hliník L 165	1.5mm			
Ocel 37/11	1.0mm			
Ocel(nerez) V4A	1.0mm			
Ocel(pozink)	1.5mm			
Měď	1.5mm			
Mosaz	1.5mm			
N/mm ²	0	5	10	15

Průměrné pevnosti ve stříhu typických spojů plast-plast (ISO 4587)

Vytvrzení: 16 hod při 40°C, zkoušeno při 23°C, předúprava –lehké zdrsňení

SMC				
Polycarbonat				
ABS				
Perspex				
PMMA				
Polyamid (nylon 6)				
N/mm ²	0	5	10	15



Roller peal test (ISO 4578)-test odloupnutím válečkem

Vytvrzení: 16 hod při 40°C 4.0 N/mm

Protážení do lomu: 35%

Dlouhodobé zkoušky

Pevnost ve stříhu v různém prostředí (typické průměrné hodnoty)

Pokud není stanoveno jinak, byla pevnost ve stříhu stanovena za teploty 23°C

Vytvrzeno: 16 hod / 40°C

Hliníková destička

	90 dnů	60 dnů	30 dnů	
Výchozí hodnota	10	10	10	
Denaturovaný líh	10	10	10	
Benzin	10	10	10	
Ester kyseliny octové	10	10	10	
Kyselina octová 10%	10	10	10	
Xylol	10	10	10	
Lubrikační olej	10	10	10	
Petrolej	10	10	10	
Voda při 23°C	10	10	10	
Voda při 60°C	10	10	10	
Voda při 90°C	10	10	10	
N/mm2	0	5	10	15

Pevnost ve stříhu po uložení v tropickém klimatu

(40/92 podle DIN 50015, typické střední hodnoty)

Vytvrzeno: 16 hod/40°C, zkoušeno při 23°C

Výchozí hodnota	10			
Po 30 dnech	10			
Po 60 dnech	10			
Po 90 dnech	10			
N/mm2	0	5	10	15

Pevnost ve stříhu v závislosti na stárnutí za zvýšené teploty (typické střední hodnoty) Vytvrzení: 16 hod/40°C, zkoušeno při 23°C/rel. vlhkost 50%

Výchozí hodnota	██████████							
30 dnů/70°C	██████████							
60 dnů/70°C	██████████							
90 dnů/70°C	██████████							
N/mm ²	0	5	10	15	20	25	30	35
0								

Termické namáhání – cyklování

100 cyklů v délce trvání 6 hodin z teploty -30°C na + 70°C 8.8 N/mm²

Test barevné stability

3 mm tlustá vrstva byla podrobena testu změny barevného odstínu v Daylight Test Cabinet po dobu 2 týdnů. Slabé zažloutnutí odpovídá dle Minolta Chroma Meter Cr 200. Tomu běžně odpovídá doba 10 let.

Skladování

Araldit 2018 A a Araldit 2018B lze skladovat po dobu 12 měsíců při teplotách 18-25°C v originálním dobře uzavřeném balení. Pak doba skladovatelnosti odpovídá datu uvedenému na etiketě obalů.

Balení

Araldit 2018 kartaše 50ml nebo kartaše 200ml

Bezpečnostní opatření

Pozor!
 Produkty firmy Ciba Spezialitätenchemie GmbH lze zpracovávat bez jakéhokoli nebezpečí, jestliže jsou dodržovány obvyklé postupy při práci s chemikáliemi. Nevytvrzené materiály nedávejte do blízkosti požívatin. Z důvodu zabránění nežádoucí alergické reakce organismu se doporučuje použít gumové nebo plastické rukavice stejně jako ochranné brýle. Po každé práci je nutno umýt si ruce teplou vodou. Nedoporučuje se používat ředidla. Po umytí ruce otřete do papírových (ne textilních) ubrousků na jedno použití. Pracovní prostor musí být dobře odvětrán, pracovní místo odsáváno. Přesný popis bezpečnostních opatření najdete v příručce „hygiena práce a způsoby zpracování produktů“ firmy Ciba Spezialitätenchemie GmbH (publ. Č. 24 264/d) stejně jako v bezpečnostních listech jednotlivých produktů. Rádi Vám tuto publikaci zašleme.

Ciba Spezialitätenchemie Performance Polymers

Naše technické rady pro zpracování materiálů odpovídají dnešnímu stavu našich znalostí. Přesto nezapomínejte na vlastní zkoušky materiálů v souvislosti s Vaším konkrétním použitím, zkušenostmi atd. Vlastní použití materiálů je mimo naši kontrolu a jste za ně plně odpovědní. Zaručujeme bezvadnou kvalitu odpovídající našim všeobecným podmínkám prodeje a dodání.

Vantico GmbH
 Breitenfurterstrasse 251
 1231 –Wien
 Rakousko
 Tel. 0043 1 801 32 0
 Fax.0043 1 801 32 421

SKOLIL KOMPOZIT s.r.o.
 Jankovcova 1059/12
 170 00 Praha 7
 CZ
 Tel/Fax 220 873 550, 551, 553
 E-mail: skolilkompozit@volny.cz