

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Diplomová práce



VITRALOCK

---

system pro stěny z dutých  
skleněných tvarovek

Vypracoval: Bc. Stanislav Polata

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Sokol, Ph.D

Praha, Prosinec 2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

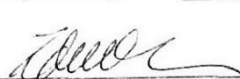
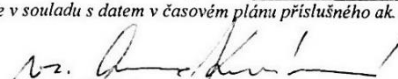
Fakulta stavební  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE


### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Polata	Jméno: Stanislav	Osobní číslo: 410175
Zadávající katedra: 134 - Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí		
Studijní program: (N3607) Stavební inženýrství		
Studijní obor: (3608T008) Konstrukce pozemních staveb		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vitralock systém pro stěny z dutých skleněných tvarovek	
Název diplomové práce anglicky: Vitralock System for Hollow Glass Blocks	
Pokyny pro vypracování: Provedení dílčích experimentů s prvky spojovacího systému Vitralock, vytvoření numerického modelu, porovnání modelu s experimenty, vypracování numerické studie, doporučení pro návrh a provádění stěn montovaných pomocí systému Vitralock.	
Seznam doporučené literatury:	
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Zdeněk Sokol, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce: 12.10.2017	Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018
<i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
<u>12.10.2017</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením diplomové práce Ing. Zdeňka Sokola ,Ph.D, použitím odborné literatury a zdroji uvedenými v seznamu, který je součástí diplomové práce.

V Praze 5. 1. 2018

.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Tato diplomová práce byla vypracována na katedře ocelových a dřevěných konstrukcí Fakulty ČVUT v Praze, pod vedením Ing. Zdeňka Sokola, Ph.D. Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce za ochotu a pomoc při experimentech a rady při modelování v programu Ansys.

Dále bych chtěl poděkovat Bc. Branislavu Mindovi za podporu během celého studia a pomoc při vypracovávání experimentů.

Dále patří mé velké poděkování doc. Ing. Martině Eliášové, CSc. za pomoc a ochotu v posledních letech studia a během diplomové práce.

## **Anotace**

Cílem této diplomové práce je vytvořit doporučení pro návrh a provádění stěn z dutých skleněných tvárnic montovaných pomocí systému Vitralock. Tato doporučení budou navržena na základě provedení dílčích experimentů s prvky spojovacího systému Vitralock.

## **Klíčová slova:**

Duté skleněné tvárnice, luxfera, Vitralock, montovaný spoj, plastové rámečky, numerický model Ansys.

## **Annotation**

The aim of this diploma thesis is to develop recommendations for the design and implementation hollow glass block of mounted walls using the system Vitralock. These recommendations will be proposed on the basis of partial experiments with the elements of the Vitralock connection system.

## **Keywords:**

Hollow glass blocks, luxfera, Vitralock, connection system, plastic frames, numerical model Ansys.

## Obsah

<b>1. ÚVOD.....</b>	<b>8</b>
<b>2. PŘEHLED SKLENĚNÝCH TVÁRNIC.....</b>	<b>13</b>
2.1 HISTORIE SKLA .....	13
2.1.1 Výroba skla .....	13
2.2 DUTÉ SKLENĚNÉ TVÁRNICE .....	14
2.2.1 Historie výroby dutých skleněných tvárnic.....	14
2.2.2 Příklady historie použití .....	15
2.2.3 Příklady moderního použití skleněných tvárnic .....	18
2.3 VÝROBA DUTÝCH SKLENĚNÝCH TVÁRNIC .....	21
2.4 VLASTNOSTI SKLENĚNÝCH TVÁRNIC .....	25
2.4.1 Tepelná izolace .....	25
2.4.2 Zvuková izolace.....	26
2.4.3 Světelná propustnost.....	27
2.5 ZPŮSOBY VÝSTAVBY TVÁRNIC .....	27
2.5.1 Klasické zdění pomocí distančních křížků a zdící malty.....	27
2.5.2 Ezylay silikon systém.....	29
2.5.3 Block Lock systém .....	31
2.5.4 Vitralock systém.....	32
<b>3. CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE .....</b>	<b>35</b>
<b>4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....</b>	<b>36</b>
4.1 TLAKOVÁ ZKOUŠKA .....	36
4.1.1 Zkušební těleso a jeho výroba.....	36
4.1.2 Uspořádání experimentu .....	38
4.1.3 Vyhodnocení experimentu .....	40
4.1.4 Závěr .....	42
4.2 TAHOVÁ ZKOUŠKA .....	43
4.2.1 Zkušební těleso a jeho výroba.....	43
4.2.2 Uspořádání experimentu .....	45
4.2.3 Vyhodnocení experimentu .....	46
4.2.4 Závěr .....	48
4.3 VYTAŽENÍ VÝZTUŽE Z KOTVENÍ.....	50
4.3.1 Zkušební těleso a jeho výroba.....	50

4.3.2	Uspořádání experimentu .....	52
4.3.3	VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU .....	54
4.3.4	ZÁVĚR .....	56
4.4	ZKOUŠKA CELÉ STĚNY .....	58
4.4.1	Zkušební těleso a jeho výroba.....	58
4.4.2	Uspořádání experimentu .....	62
4.4.3	Vyhodnocení experimentu .....	65
4.4.4	Závěr .....	73
<b>5.</b>	<b>NUMERICKÁ ANALÝZA .....</b>	<b>74</b>
5.1	NUMERICKÝ KOMPONENTNÍ MODEL.....	74
5.1.1	Používané modelové prvky .....	75
5.1.2	Materiálové vlastnosti .....	76
5.1.3	Geometrie numerického komponent modelu .....	77
5.1.4	Zatížení .....	78
5.1.5	Symetrie a podepření.....	79
5.1.6	Verifikace modelu .....	80
<b>6.</b>	<b>PARAMETRICKÁ STUDIE.....</b>	<b>80</b>
6.1	VSTUPNÍ PARAMETRY .....	80
6.2	ZKUŠEBNÍ VZORKY .....	83
6.3	ZÁVĚR.....	85
<b>7.</b>	<b>VÝSLEDKY DIPLOMOVÉ PRÁCE.....</b>	<b>85</b>
<b>8.</b>	<b>TÉMA NA DALŠÍ VÝZKUM.....</b>	<b>86</b>
<b>9.</b>	<b>ZDROJE LITERATURY .....</b>	<b>87</b>



## Seznam obrázků

OBR. 1 PROSVĚTLENÍ STRÁŽNÍHO DOMKU 1955.....	15
OBR. 2 REKONSTRUKCE STŘECHY PRAHA.....	16
OBR. 3 NEW YORK HOUSE POSTAVENÝ ŠVÝCARSKÝM ARCHITEKTEM WILLIAM LESCAZE 1934.....	16
OBR. 4 OSAKA'S ISHIHARA HOUSE, TADA0 ANDO, 1977.....	17
OBR. 5 MAISON DE VERRE [7].....	17
OBR. 6 OBCHODNÍ PASÁŽ ČERNÁ RŮŽE [8].....	18
OBR. 7 PŘÍKLAD POUŽITÍ LUXFER V KUCHYNI [4].....	18
OBR. 8 POCHOZÍ LÁVKA [4].....	19
OBR. 9 POUŽITÍ V KOUPELNĚ [4].....	19
OBR. 10 HERMÈS TOKYO'S GINZA [7].....	20
OBR. 11 POUŽITÍ NA FASÁDĚ [4].....	20
OBR. 12 POHLED NA SKLENÁŘSKOU VANU [4].....	21
OBR. 13 POHLED DO VNITŘKU VANY [4].....	21
OBR. 15 RŮZNÉ DRUHY RAZNÍKŮ [4].....	22
OBR. 16 DOPRAVNÍK POLOTOVARŮ [4].....	22
OBR. 17 NAHŘÍVÁNÍ OKRAJŮ, NEŽ DOJDE K NATAVENÍ [4].....	23
OBR. 18 PŘITISKNUTÍ TVÁRNIC ROZTAVENÝMI HRANAMI [4].....	23
OBR. 19 DETAIL SVAŘENÉHO ROHU [4].....	23
OBR. 20 ZABARVOVÁNÍ VNITŘNÍCH STĚN TVÁRNIC [4].....	24
OBR. 21 PRŮHLEDNOST SKLENĚNÝCH TVÁRNIC [4].....	27
OBR. 30 PLASTOVÉ KŘÍŽE A DISTANČNÍ DESTIČKY [4].....	32
OBR. 31 ROHOVÉ A SPODNÍ PROFILY [4].....	33
OBR. 34 SESTAVENÝ VZOREK.....	36
OBR. 35 DETAIL ROHU PLASTOVÉHO ROŠTU.....	37
OBR. 36 SLOŽENÍ HORNÍ HRANY.....	37
OBR. 37 SESTAVA S EXTENZOMETREM.....	38

---

VITRALOCK

OBR. 38 ODRAZOVÉ ŠTÍTKY PŘILEPENÉ NA TVÁRNICÍCH .....	39
OBR. 39 PRŮBĚH ZATĚŽOVACÍ SÍLY V ZÁVISLOSTI NA ČASE.....	39
OBR. 41 PRŮBĚH SÍLY V ZÁVISLOSTI NA DEFORMACI VZOREK 2 .....	40
OBR. 42 PRŮBĚH SÍLY V ZÁVISLOSTI NA DEFORMACI VZOREK 3 .....	41
OBR. 43 ZDEFORMOVANÝ VZOREK PO ZATĚŽOVACÍ ZKOUŠCE .....	41
OBR. 44 PRACOVNÍ DIAGRAM KOMPONENTY DISTANČNÍ DESTIČKY V TLAKU .....	42
OBR. 45 SESTAVENÝ VZOREK PRO TAHOVOU ZKOUŠKU.....	43
OBR. 47 PŘIPOJENÝ KONTAKTNÍ EXTENZOMETR.....	45
OBR. 48 PŘIPRAVENÉ VZORKY BEZ OCELOVÝCH PŘÍPRAVKŮ .....	46
OBR. 49 PRŮBĚH SÍLY V ZÁVISLOSTI NA DEFORMACI VZOREK 1 .....	46
OBR. 50 PORUŠENÍ PACIČEK PROSTOROVÉHO KŘÍŽE .....	47
OBR. 51 PRŮBĚH SÍLY V ZÁVISLOSTI NA DEFORMACI VZOREK 2 .....	47
OBR. 52 PORUŠENÍ JEDNÉ STRANY PLASTOVÝCH PACIČEK.....	48
OBR. 53 SLOUČENÉ KŘIVKY PRŮBĚHU SÍLY V ZÁVISLOSTI NA DEFORMACI.....	48
OBR. 54 PRACOVNÍ DIAGRAM KOMPONENTY PROSTOROVÉHO KŘÍŽE V TAHU.....	49
OBR. 55 PRASKLÉ "PACIČKY" .....	49
OBR. 56 SESTAVENÝ VZOREK PŘED ZKOUŠKOU .....	50
OBR. 57 SPECIÁLNÍ OCELOVÝ RÁM .....	51
OBR. 58 PŘIŠROUBOVANÝ RÁMEČEK K DŘEVĚNÉMU TRÁMKU .....	51
OBR. 59 OCELOVÁ STOLICE ULOŽENÁ DO ZATĚŽOVACÍHO STROJE .....	52
OBR. 60 PŘIPOJENÝ LASEROVÝ EXTENZOMETR .....	53
OBR. 61 PRŮBĚH SÍLY V ZÁVISLOSTI NA VYTAŽENÍ .....	54
OBR. 62 GRAF ZÁVISLOSTI SÍLY NA ČASE.....	54
OBR. 63 OPŘENÍ VÝZTUŽE O DŘEVĚNÝ TRÁMEK .....	55
OBR. 64 ZDEFORMOVANÝ ROH RÁMEČKU .....	55
OBR. 65 GRAF ZÁVISLOSTI SÍLY NA VYTAŽENÍ VŠECH 6 TI VZORKŮ .....	56
OBR. 66 PRACOVNÍ DIAGRAM KOMPONENTY VYTAŽENÍ VÝZTUŽE .....	56

---

VITRALOCK

OBR. 67 STATICKÉ SCHÉMA STĚNY .....	58
OBR. 68 KOTVENÍ KRAJNÍCH RÁMEČKŮ K DŘEVĚNÉMU RÁMU.....	59
OBR. 69 PRVNÍ ŘADA PŘIPRAVENÁ NA OSAZENÍ TVÁRNIC.....	60
OBR. 70 HOTOVÁ PRVNÍ ŘADA.....	61
OBR. 71 TLAČENÁ STRANA STĚNY PŘED SPÁROVÁNÍM.....	62
OBR. 72 SYSTÉM VAHADEL ROZNÁŠEJÍCÍCH ZATÍŽENÍ .....	63
OBR. 73 ROZNÁŠECÍ DESKA .....	63
OBR. 74 SCHÉMA ROZLOŽENÍ ZATÍŽENÍ .....	63
OBR. 75 SCHÉMA MĚŘENÝCH BODŮ.....	64
OBR. 76 HÁČEK SNÍMAČE V BODU 2 .....	65
OBR. 77 ZÁVISLOST ZATĚŽOVACÍ SÍLY NA ČASE .....	65
OBR. 78 PRŮBĚH SÍLY V ZÁVISLOSTI NA DEFORMACI PRO VŠECHNY BODY KONSTRUKCE .....	66
OBR. 79 PRVNÍ TRHLINY NA TAŽENÉ STRANĚ .....	68
OBR. 80 ROZVOJ TRHLIN NA TAŽENÉ STRANĚ .....	69
OBR. 81 TRHLINY NA TLAČENÉ STRANĚ .....	70
OBR. 82 DEFORMACE STĚNY V ZÁVĚREČNÉ FÁZI ZATĚŽOVÁNÍ .....	71
OBR. 83 PROTLAČOVÁNÍ TVÁRNICE.....	72
OBR. 84 STĚNA PO UKONČENÍ EXPERIMENTU .....	72
OBR. 85 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA MODELU KOMPONENT V PROGRAMU ANSYS.....	74
OBR. 86 GEOMETRIE PRVKU SOLID 185 .....	75
OBR. 87 VSTUPNÍ PARAMETRY PRVKU COMBIN 39 .....	76
OBR. 88 GEOMETRIE PRVKU LINK 180 .....	76
OBR. 79 GEOMETRIE NUMERICKÉHO MODELU PRO ROZMĚRY 3x3 .....	77
OBR. 89 LINIOVÉ ZATÍŽENÍ APLIKOVANÉ NA STĚNU 15x15 .....	79
OBR. 90 SCHÉMA PODEPŘENÍ STĚNY .....	79
OBR. 91 POROVNÁNÍ ODEZVY ZATÍŽENÍ NA STĚNU EXPERIMENTU A NUMERICKÉHO MODELU .....	80
OBR. 92 GEOMETRIE STĚNY 12x14 .....	82

---

VITRALOCK

OBR. 98 ZDEFORMOVANÁ STĚNA PO ZATÍŽENÍ .....	83
OBR. 99 POROVNÁNÍ DEFORMACÍ JEDNOTLIVÝCH VELIKOSTÍ STĚN PRO ZAT. 0,5 kN/M .....	84
OBR. 100 POROVNÁNÍ DEFORMACÍ JEDNOTLIVÝCH VELIKOSTÍ STĚN PRO ZAT. 1 kN/M .....	84

## 1. Úvod

V architektuře a historii designu nebyl žádný ze stavebních materiálů zesměšňován a nepochopen jako skleněné tvárnice, všestranný stavební materiál představený pro komerční použití před 90 lety.

Britský vynálezce James Pennycuick jako první na světě vytvořil skleněné tvárnice, které dokázaly v osmdesátých letech 19. století změnit vzhled každého většího města. Velké množství vysokých staveb zapříčinilo to, že budovy byly tmavé a práce či život v nich byl velmi nepříjemný. [5]

Během krátké doby skleněné tvárnice jako první pomohly vyřešit tmavé a nepříjemné kouty a místnosti, zachovaly intimitu a zároveň poskytly světlo a příjemnou atmosféru v místech, kde to jinak nebylo možné.

V současné době se znovu navrácí skleněné duté tvárnice s vylepšenými vlastnostmi a stávají se hojně využívaným stavebním prvkem. Jejich nové tepelné vlastnosti umožňují použití v obvodových prosklených stěnách. Neprůzvučnost je předurčuje pro použití ve vnitřních prostorech.

S pokrokem v oblasti tvárnic muselo dojít i k vývoji spojovacích prostředků. Pro spojování dutých skleněných tvárnic se používal pouze mokřý způsob na maltu. Novější způsoby využívaly lepidlo nebo silikon.

Nyní přichází nový způsob výstavby dutých skleněných tvárnic pomocí plastových rámečků Vitralock, které mnohonásobně urychlí výstavbu.

## 2. Přehled skleněných tvárnic

### 2.1 Historie skla

Sklo je jeden z nejstarších materiálů, který je využíván po mnoho tisíciletí. Sklo vznikalo postupně v době bronzové během 5. a 4. tisíciletí př. n. l. jako vedlejší produkt keramické výroby. Přímým předchůdcem skla byly sklovité glazury, které pokrývaly keramické šperky a nádoby.

K postupnému rozvoji evropského sklářství dochází koncem 12. a ve 13. století. V západní a střední Evropě vznikají kromě klášterních hutí tzv. lesní hutě – stěhovavé sklárny, které se v oblastech s hustými lesními porosty přesouvaly za dřevem a byly tak často předvojem kolonizace neobydlených horských krajín. Lesní sklárny produkovaly většinou lesní sklo zelenavé, s bublinkami a nečistotou ve sklovině, jež byla způsobena minimálním čištěním surovin

Na sever od Alp se od 16. století hojně rozšiřuje lesní sklářství. V západní a střední Evropě bylo sklářství především řemeslem venkovským, přičemž se vyráběly tradiční tvary tradiční technologií. [5]

#### 2.1.1 Výroba skla

Sklo se vyrábí z písku tavením ve sklářské peci za pomoci alkalických tavidel, tj. látek, které tavení písku usnadňují. Chemicky je sklo křemičitan. Jeho hlavními složkami jsou tedy oxid křemičitý (70-75%) a oxid – sodný nebo draselný. Další důležitou složkou skla je oxid vápenatý, který oxidy stabilizuje. Vlastnosti skla se mění podle jeho složení. Sklo sodné je měkké a tvarovatelné, tuhne poměrně pomalu, a proto jej lze dlouho složitě tvarovat. Sklo draselné je tvrdé. Nejdříve se z něj vyrábělo zelenavé lesní sklo a po zvládnutí technologie čištění a odbarvování také sklo křišťálové.

Přírodní barva skla je podle různých nežádoucích příměsí (především sloučenin železa) nazelenalá nebo nahnědlá. Teprve čištěním a odbarvováním skla se získá sklo čiré. Oxidy kovů barví sklo nejrozličnějším způsobem: železo podle mocenství nazeleno nebo

nahnědo, měď zeleně, modře a červeně, kobalt modře, zlato rubínově červeně, nikl a mangan fialově, chrom a uran zeleně a síra žlutě. [5]

## 2.2 Duté skleněné tvárnice

Skleněná dutá tvárnice jinak také luxfera nebo sklobetonka, je obvykle vyrobena ze dvou shodných skleněných částí, vylévaných do forem a tlakem vylisovaných. Tyto části jsou k sobě za tepla přiloženy a tvoří vzduchotěsnou kapsu s mírným podtlakem. Luxfery charakterizuje jejich rozměr, barva, dekor a povrchová úprava. Z fyzikálních vlastností je důležitý tepelný odpor, světelná propustnost, index zvukové neprůzvučnosti a požární odolnost. Rozměry základní tvárnice jsou 190x190x8mm.

### 2.2.1 Historie výroby dutých skleněných tvárnic

Britský vynálezce James Pennycuick se jako první na světě pokusil dosavadní skleněné tvárnice zpevnit tak, aby vydržely opravdu velký nápor a nemusely být využívány pouze jako obyčejná dekorace, ale také jako nosná a pevná součást domů. Po jeho pokusech se z obyčejného kousku skla stal kvalitní stavební materiál. Kolem roku 1905 se začaly tyto tvárnice stávat součástí téměř každé nové stavby. Tvárnice se staly jedním z velkých objevů století. Díky úpravě elektrolýzou se staly také odolnými proti požáru.

První příčinou pro úpadek tvárnic byl začátek používání vytápění klimatizací, kterým duté tvárnice musely ustoupit, protože klimatizace byla neúčinná. Další příčinou bylo použití manganu při jejich výrobě. Při použití manganu se po delší době stalo to, že tvárnice začaly dostávat nepříjemnou fialovou barvu.

S rozvojem nových materiálů se staré skleněné tvárnice nedají porovnávat s tvárnicemi používanými dnes. Zatímco v dřívějších letech se používalo pouze bezbarvé sklo, v dnešní době se používají i různé barevné odstíny. Také povrchová úprava se od hladké dostala až k různým ornamentům vypískovaným na povrchu a vzorům získaným při lisování. [5]

Pokud je potřeba velké prosvícení, použije se méně pojícího materiálu. To sebou nese riziko menší pevnosti.

Novou vlnu zájmu o skleněné tvárnice přivolala změna barev a tvarů. Největší zájem o ně způsobují nové tepelně technické vlastnosti. Díky využití přirozeného světla, propustnosti skla a zároveň jeho dobrých izolačních vlastností se duté skleněné tvárnice opět začínají více používat.

### 2.2.2 Příklady historie použití



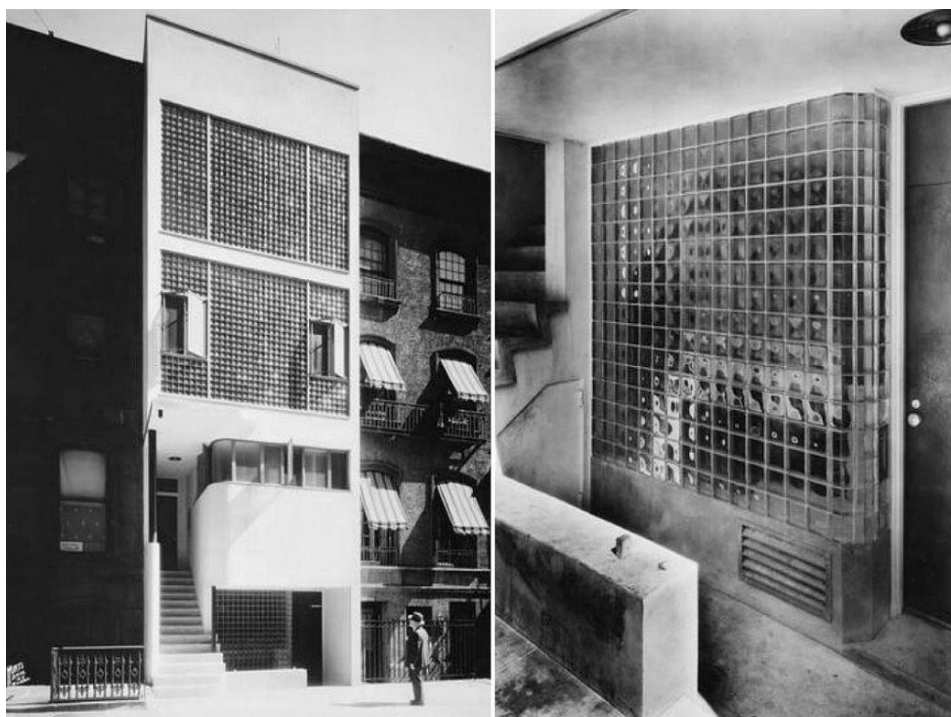
*Obr. 1 Prosvětlení strážního domku 1955*

Typické použití dutých skleněných tvárnic je na Obr. 1, kde je znázorněné prosvětlení prostoru za dveřmi pomocí skleněných dutých tvárnic.





*Obr. 2 Rekonstrukce střechy Praha*



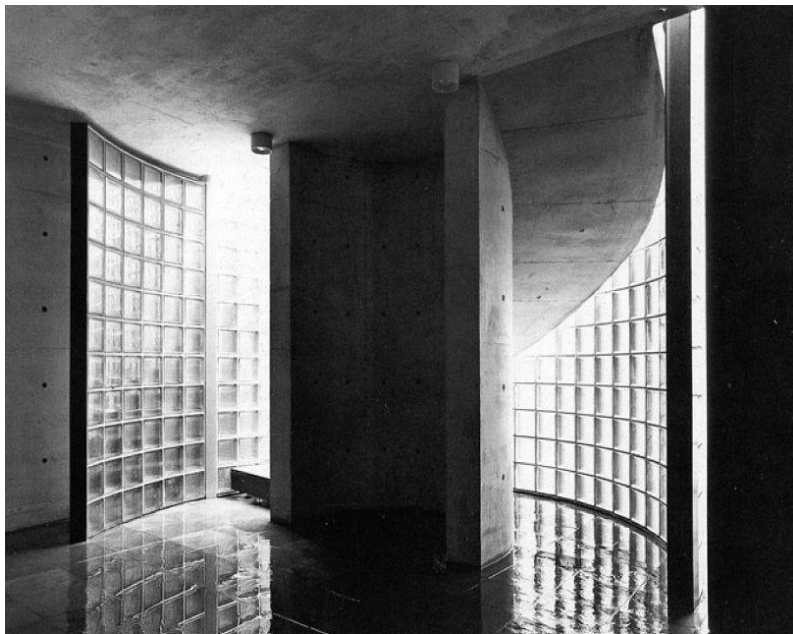
*Obr. 3 New York house postavený švýcarským architektem William Lescaze 1934*

William Lescaze byl otevřený modernista. V roce 1934 byly zahájeny práce na prvním moderním domě postaveném v New Yorku., kde fasádu tvořili skleněné duté tvárnice.

---

VITRALOCK

system pro stěny z dutých skleněných tvarovek



*Obr. 4 Osaka's Ishihara House, Tadao Ando, 1977*



*Obr. 5 Maison de Verre [7]*

Maison de Verre je obytný dům v Paříži. Dům v soukromém vlastnictví se nachází na adrese Rue Saint-Guillaume č. 31 v 7. obvodu. Stavba je od roku 1982 chráněná jako historická památka, viz Obr. 5.

---

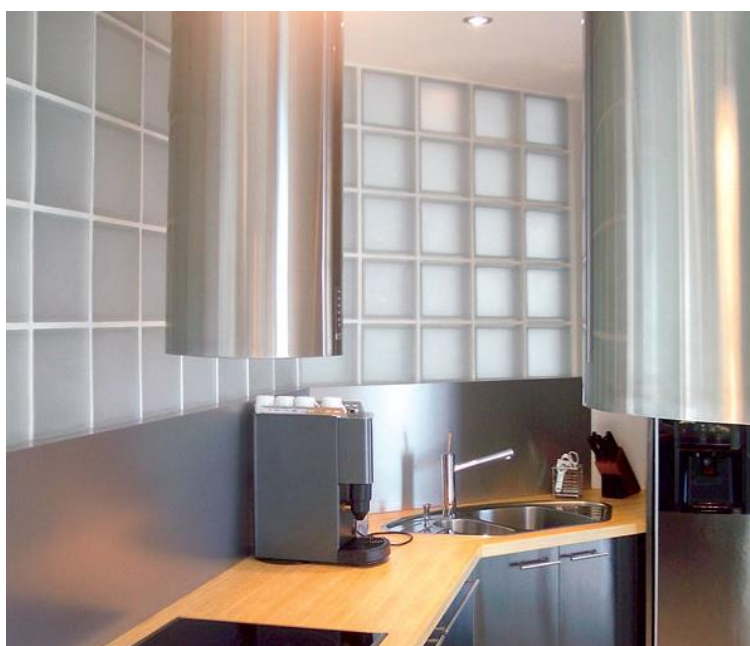
VITRALOCK

system pro stěny z dutých skleněných tvarovek

### 2.2.3 Příklady moderního použití skleněných tvárníc



*Obr. 6 Obchodní pasáž Černá růže [8]*



*Obr. 7 Příklad použití luxfer v kuchyni [4]*

Skleněné duté tvárnice se u nás převážně používají pro vnitřní příčky, oddělení prostorů s nedostatkem světla.

---

VITRALOCK

system pro stěny z dutých skleněných tvarovek



*Obr. 8 Pochozí lávka [4]*



*Obr. 9 Použití v koupelně [4]*

---

VITRALOCK

system pro stěny z dutých skleněných tvarovek



*Obr. 10 Hermès Tokyo's Ginza [7]*



*Obr. 11 Použití na fasádě [4]*

Skleněné duté tvárnice se v zahraničí využívají nejen k vnitřnímu použití, ale také jako skleněný plášť celých budov.

---

VITRALOCK

system pro stěny z dutých skleněných tvarovek

### 2.3 Výroba dutých skleněných tvárnic

Skleněné cihly se vyrábějí ze čtyř základních složek: drceného recyklovaného skla, křemičitého písku, uhličitanu sodného a vápence. V tavící peci se směs rozpálí na 1500°C, čímž se vytvoří skleněná tavenina.

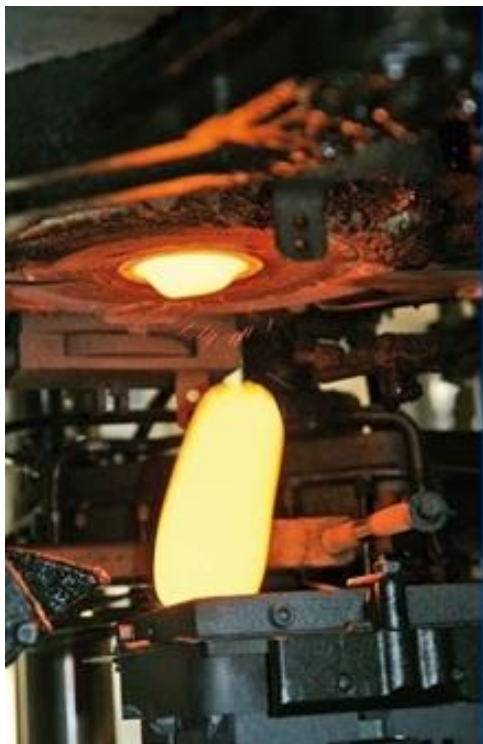


Obr. 12 Pohled na sklenářskou vanu [4]



Obr. 13 Pohled do vnitřku vany [4]

Z pece se do automatické výrobní linky po taktech vypouštějí přesně odměřené „kapky“ skla, které padají do lisovací formy pro lisování polovin luxfery. Razník určí její vzor i rozměr, viz obr. 15.



Obr. 14 Dopad kapky do formy [4]



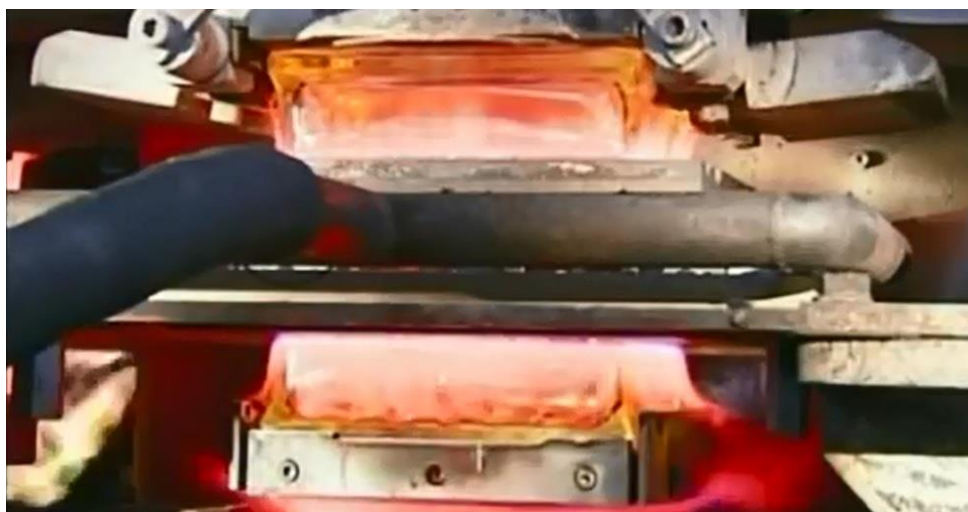
Obr. 15 Různé druhy razníků [4]

Následně vzduch, proudící z trysek, prudce ochlazuje výlisek na 600 °C tak, aby nebyl porušen tvar polotovaru.



Obr. 16 Dopravník polotovarů [4]

Pásem je polotovár dopraven k svařovacímu stroji, který opět nataví jejich hrany a obě poloviny neprodyšně spojí a zataví, viz obr.17, obr 18., obr. 19.



*Obr. 17 Nahřívání okrajů, než dojde k natavení [4]*



*Obr. 18 Přitisknutí tvárnic roztavenými hranami [4]*



*Obr. 19 Detail svařeného rohu [4]*



Tvárnice musí chladnout velmi pomalu v samostatné chladící peci, kterou mohou opustit až po ochlazení na 80° C. Kontrola potvrdí správné lícování obou polovin cihly a dbá na to, aby každý výrobek velikostí a tvarem odpovídal normě. Aby malta během stavby dokonale ulpěla na bocích tvárnic, z trysek se na ně nanáší vrstvička barvy.



*Obr. 20 Zabarvování vnitřních stěn tvárnic [4]*

Každý výrobek je označen kódovým číslem produkce a hodinou i datem výroby. Automatická balicí linka je na závěr připraví k bezpečné přepravě na paletách v kartónových a fóliových obalech.

## 2.4 Vlastnosti skleněných tvárnic

Základní skleněná tvárnice je vyráběna svařením dvou výlisků a základní tloušťka je 80 mm. Skleněné tvárnice jsou vyráběny i v tloušťce 98 mm, které mají vyšší tepelné izolační schopnosti.

### 2.4.1 Tepelná izolace

Skleněné tvárnice vykazují velice dobré tepelně izolační vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou způsobeny především technologií výroby, kdy je ve skleněné tvárnici při jejím chladnutí podtlak. Díky tomu vykazují skleněné tvárnice lepší tepelně izolační vlastnosti než klasické izolační dvojsklo. Ve sklobetonových konstrukcích se díky spárám tepelně izolační vlastnosti snižují, ale stále se svými hodnotami blíží klasickým dvojitým izolačním sklům. Zároveň jsou ale skleněné tvárnice (luxfery) klasifikovány jako energeticky úsporný materiál. Sklobetonové konstrukce dosahují součinitele prostupu tepla konstrukcí  $2,34 \text{ W m}^2\text{K}$  a tepelného odporu až  $0,26 \text{ m}^2\text{K}$ . Tyto parametry umožňují snižování přehřátí prostor vlivem slunečního záření v letních měsících, zatímco v zimě umožňují maximální využití tepla v objektech, viz Tab. 1.

Vysoký koeficient tepelných vlastností poskytuje i vynikající ochranu proti kondenzaci vody na povrchu. Například při teplotě 20 stupňů v místnosti a při relativní vlhkosti 60 % se na povrchu neprojeví žádná kondenzace až do vnější teploty  $-2,4$  stupně celsia. Uvedené vlastnosti jsou dány samotnou technologií výroby skleněných tvárnic. Při výrobě jsou jednotlivé poloviny tvárnic svařovány za horka, proto je vzduch obsažený uvnitř tvárnic po vychladnutí pod nižším tlakem. [5]

Tab. 1 Tepelné odpory dutých skleněných tvárnic

Rozměry (cm)	Zkušební vzorek	Povrch tvárnice	U W/m <sup>2</sup> K
19x19x8	Jednoduchý panel	tradiční	3,02
		pískovaný	2,81
19x19x8	Jednoduchý panel	Posavel	2,72
24x24x8	Jednoduchý panel	tradiční	2,95
24x24x9	Zdvojený panel	tradiční	1,48
24x24x8	Jednoduchý panel	Satin	2,89

## 2.4.2 Zvuková izolace

Z hlediska samotné konstrukce a materiálu dosahují skleněné duté tvárnice zcela ojedinělých vlastností z hlediska zvukové izolace. Jsou certifikovány jako silný zvukový izolant do 500 dB. Parametrem měřícím kapacitu zvukové izolace je hodnota zvukové izolace „Rw“ v dB. Stěny dosahují dle normy ISO zvukové izolace ve výši 40–45 dB v závislosti na formátu použitých skleněných tvárnic.

Například hluk z rušné ulice je redukován tvárnici na prostředí klidné pracovny při 125 dB. Proto je použití tvárnic doporučováno v oblastech s vysokou úrovní hluku, jako jsou továrny, rušné ulice, letiště apod.

Tab. 2 Zvuková izolace skleněných dutých tvárnic

Rozměry (cm)	Zkušební vzorek	Zvuková izolace v dB při 500 Hz dle ISO standartu
19x19x8	Jednoduchý tvárnice	40,0
		40,0
24x24x9	Jednoduchý tvárnice	40,0
		45,0

### 2.4.3 Světelná propustnost

Světlo, které přichází do interiéru skleněnou tvárnici je měkké, stabilní a uniformní. Světelná propustnost u čirých tvárníc je při kolmo dopadajícím světle cca 77 %. Odpovídá tedy normálnímu dvojsklu. U barevných tvárníc se pohybuje prostupnost od 50 do 70 %, dle barvy a její sytosti. Tvárnice zajišťují rovnoměrné osvětlení interiéru bez ohledu na počasí nebo denní dobu, brání jevu vznikajícího u standardního zasklení, příliš intenzivní světlo u okna a stín ve vzdálenějších místech. V případě potřeby lze zajistit různé stupně neprůhlednosti, a to vhodnou volbou vzoru tvárnice, viz Obr. 21. Použitím matové tvárnice lze průhled úplně znemožnit. [5]



Obr. 21 Průhlednost skleněných tvárníc [4]

## 2.5 Způsoby výstavby tvárníc

### 2.5.1 Klasické zdění pomocí distančních křížků a zdící malty

V případě tradičního způsobu výstavby zdiva ze skleněných dutých tvárníc se jedná o klasické zdění za použití distančních křížků a zdící malty. Součástí vyzdívání je mokrá proces, kdy se tvárnice ukládají do malty. Nevýhodou je pomalejší výstavba a velké nároky na přesnost ukládání tvárníc.

#### a) Příprava podkladu

Skleněné tvárnice musí být bez prachu a očištěny pro dosažení potřebné soudržnosti malty ke tvárnici. Teplota materiálu musí být minimálně +5°C.

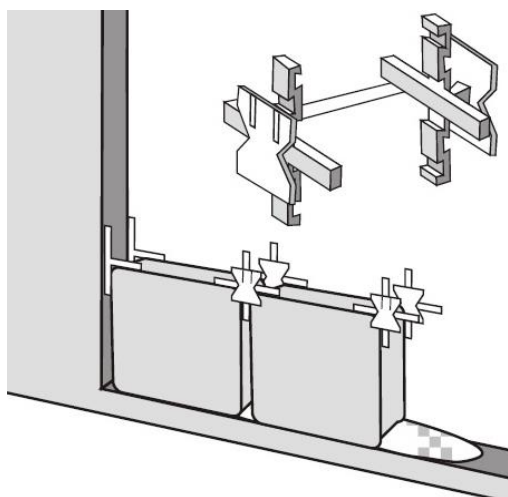
#### b) Příprava maltové směsi

Suchá směs se rovnoměrně vsype do předepsaného množství vody dle návodu na obalu. Promíchá se rychloběžným míchadlem do homogenní hladké hmoty.

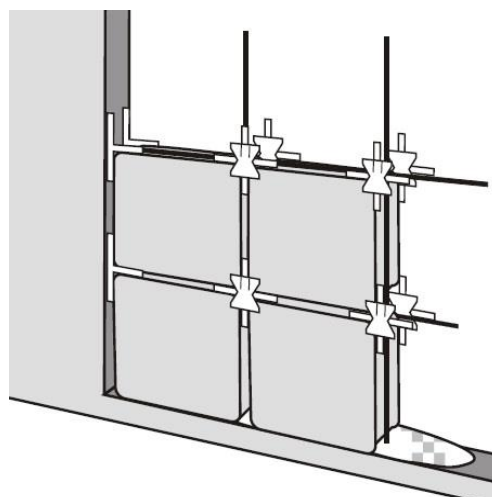
Po 5-10 minutách se odležená malta znovu krátce promíchá. Při rozmíchávání se dodržuje stále stejný poměr vody.

#### c) Zdění

První řada tvárnic se ukládá do čerstvé malty s předem připravenými distančními křížky. Po uložení tvárnic do první řady se odstraní přebytečná malta vytlačená ze spáry. Do spár se vloží výztuž o průměru 6 mm ve svislém i vodorovném směru. Mezi tvárnice se vloží distanční křížky, které slouží k dodržení přesné a rovnoměrné spáry, viz obr. 22. Distanční křížek zároveň slouží k oddělení tvárnic a ocelové výztuže. Před položením další řady se nanese malta na svislou i boční stěnu tvárnice v potřebném množství.



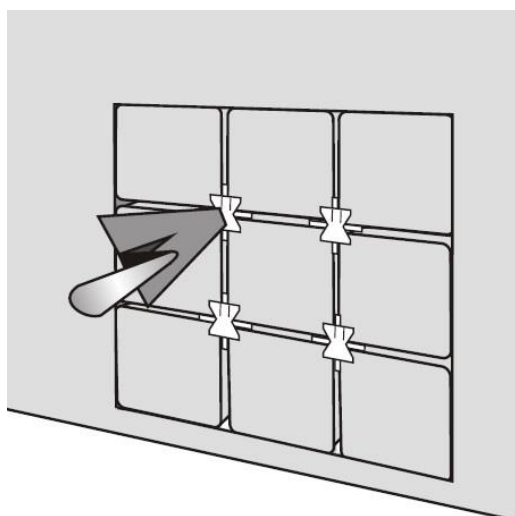
Obr. 22 Založení první řady [4]



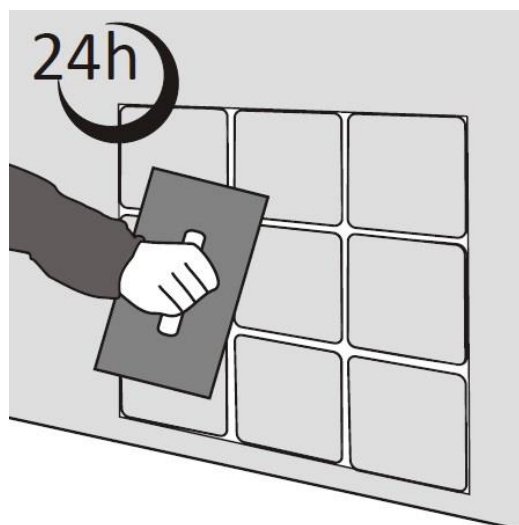
Obr. 23 Vložení výztuže do distančních křížů [4]

#### d) Spárování stěny

Po ukončení vyzdívky se odlomí montážní křídélka na distančních křížích, viz obr. 23. Po zatvrdnutí malty se celkově začištěnou konstrukci zaspáruje maltou. Pro dosažení barevného odstínu se použije speciální flexibilní spárovací hmota. Spárování musí být provedeno v celé ploše stěny v tloušťce 5-10 mm, čímž dojde k překrytí použitých distančních křížů. U větších celků (nad 15 m<sup>2</sup>) je nutno provést dilatační spoj. Mezera mezi sklobetonovou příčkou a navazující konstrukcí se vyplní dilatačním materiálem, např. PU pěnou nebo polystyrénem a zakryje pružným tmelem.



Obr. 24 Vylomení vymežujících křížů [4]



Obr. 25 Spárování celé příčky [4]

### 2.5.2 Ezylay silikon systém

„Ezylay“ silikon systém představuje nový způsob výstavby z dutých skleněných tvárnic. Systém slouží pro menší příčky bez velkého zatížení. Tvárnice se ukládají do hliníkového rámu a spárují silikonem. Systém se používá především pro prostory s vysokou vlhkostí. Výstavba je jednoduchá a plynulá díky vymešovacím profilům, ale spárování je kvůli silikonu náročnější.

#### a) Příprava podkladu

Podklad musí být čistý, aby hliníkové profily dobře přilehly na určené místo. „Ezylay“ silikon systém se dodává jako komplet a obsahuje: rám v rozložené formě – 4 ks, spodní hliníkový profil – 1 ks, vymešovací profily a spojovací prvky – v počtu dle množství tvárnic. Rámy jsou oblepené ochranou páskou, která se sundá až po dokončení instalace, případně celého interiéru.

## b) Montáž rámu

Při montáži se sestaví hliníkové rámy k sobě a vodorovná část se přišroubuje k bočním částem přiloženými šrouby. Poté se rám vloží do připraveného stavebního otvoru a vyrovná se do vodováhy. Rám se provrtá v rozteči 70 cm a připevní pomocí hmoždinek do zdi. Pro upevnění hliníkového rámu se použijí kotevní prvky vhodné pro obvodové zdivo, do kterého se rám kotví. V případě, že okolní zdivo nevykazuje dostatečnou pevnost, je vhodné použít chemické kotvy. Rám musí být namontován naprosto rovně (dle vodováhy) a úhly musí svírat 90°. V případě odchylek od ideální svislosti nelze následně skleněné tvárnice namontovat přesně. V případě, že je rám na jedné nebo více stranách volný do prostoru, se použije zakončovací lišta. Lehkým poklepáním lištu zafixujeme do rámu.



Obr. 26 Vyrovnání rámu do stavebního otvoru [4]



Obr. 27 Fixace zakončovací lišty [4]

c) Vyplnění rámu

Do spodního rámu se vloží vymežovací profil a do bočních polystyren v celé délce. Na spodní profil se položí profil ve tvaru „T“ a začne se s pokládkou tvárnic do rámu. Na vymežovací profily se nasadí křížky „X“ dle počtu tvárnic a zakončí profilem „T“. Mezi každou řadu se položí vymežovací profil. V poslední řadě se horní část křížku nad vymežovacím profilem uřízne. Jako poslední se ukládá prostřední tvárnice. Vyrovnají se všechny tvárnice tak, aby nikde nevyčnívaly rohy v křížení. Spáry se vyplní Ezylay silikonem, postříkají prostředkem pro uhlazení a odstraní se přebytečný silikon.



Obr. 28 Založení první řady [4]



Obr. 29 Vymežovací profil s křížky [4]

### 2.5.3 Block Lock systém

Block Lock systém je velmi jednoduchý způsob stavění stěn z dutých skleněných tvárnic. Systém spočívá v použití polyuretanových profilů upevněných mezi luxferami pomocí speciálního lepidla. Použití systému je jednoduché, ale trvá déle kvůli čekání na vytvrdnutí lepidla.

a) Příprava podkladu

Stěny musí svírat pravý úhel. Jedná se o přesné tvárnice a veškeré nerovnosti se projeví v kvalitě výsledné příčky.



b) Zdění

Na podlahu a stěnu se nalepí pomocí lepidla základní lišty. Lepit se může na očištěný, pevný a suchý povrch. Lepení se může provádět přímo na obklady a dlažbu. Na lištu se nanese lepidlo a přilepí se první tvárnice. Na krátký profil po obou jeho stranách se nanese lepidlo. Krátký profil se přilepí z boku k tvárnici. Poskládá se první řada tvárnic a na ní se nalepí dlouhý profil. Po 6 postavených řadách by se mělo lepidlo nechat ztuhnout 24 hodin před pokračováním ve vyzdívání.

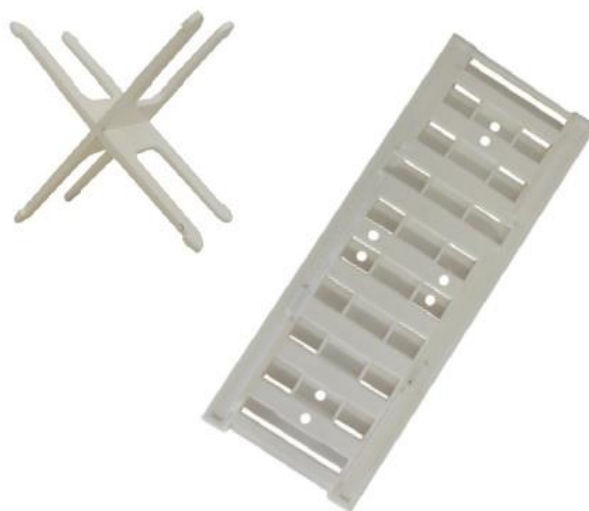
c) Spárování

Když je stěna hotova, počká se 24 hodin pro vytvrdnutí lepidla a poté zaspáruje. Spárovací hmota dodá stěně potřebnou tuhost.

Svoji plnou pevnost dosáhne příčka po 15 dnech.

#### 2.5.4 Vitralock systém

Nový systém Vitralock firmy SEVES GLASS BLOCK je inovativní způsob výstavby skleněných dutých tvárnic v interiérech. Díky jednoduchosti a rychlosti výstavby, by se mohl stát nedílnou součástí stavebnictví.



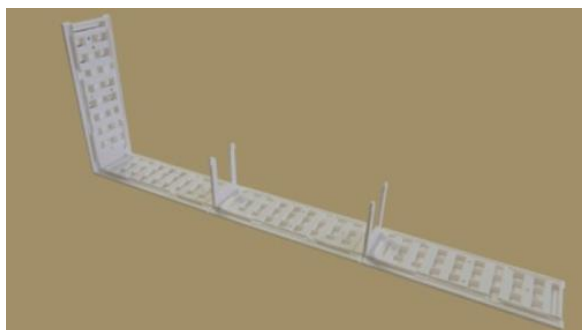
Obr. 30 Plastové kříže a distanční destičky [4]

a) Příprava podkladu

Vitralock systém se skládá ze dvou částí. Z plastového kříže a vodorovných plastových vymezočů, které se do sebe zaklapávají. Jedná se o přesné zdění a veškeré nerovnosti se projeví v kvalitě výsledné příčky.

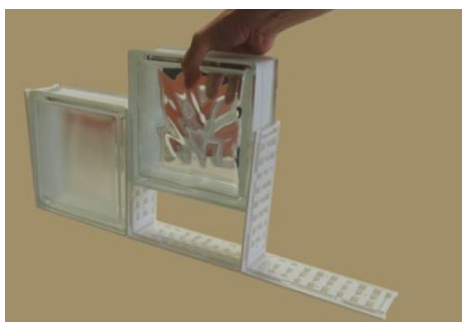
b) Zdění

Na začátku výstavby se připraví krajní a rohové profily tím, že se z křížových profilů uříznou části, aby vznikly "L" a "T" profily. Při spojování křížů a rovných částí by mělo být slyšet "klapnutí". To znamená, že jsou prvky v sobě správně zacvaknuté.

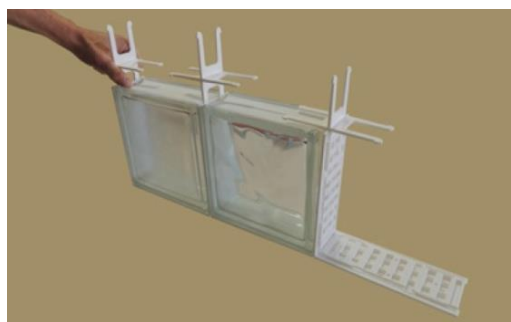


Obr. 31 Rohové a spodní profily [4]

Do rámečků se zacvakne výztuž do drážky o průměru 5 mm. Položí se první řada a použijí se kotevní prvky vhodné pro obvodové zdivo, do kterého se prvky kotví. Když je spodní část umístěna a ukotvena šrouby, začne se pokládat první řada tvárnic. Když je první řada umístěna, nacvakne se další řada křížů a distančních destiček. Střídavě se pokládají skleněné tvárnice a řada plastových prvků. Poslední řada se rozepré pomocí klínů, aby byla zajištěna její stabilita stěny.



Obr. 32 Uložení tvárnic do rámečků [4]



Obr. 33 Zacvaknutí další řady křížů [4]

c) Spárování

Když je stěna hotova, může se okamžitě začít se spárováním. Stěna okamžitě po spárování nabývá svojí pevnosti. Mezery se vyplní maltou a začistí, takže plastové rámečky nejsou viditelné.

### 3. Cíl diplomové práce

V běžné praxi zatím pro skleněné duté tvárnice spojované pomocí plastových rámečků Vitralock neexistují komplexní návrhové postupy. Teoretické a praktické znalosti o chování stěny jsou minimální a stavitelé jsou zatím nuceni vycházet pouze ze svých odhadů a zkušeností. Ověřování velkými experimenty je drahé a náročné.

Přestože jsou stěny sestavené s použitím systému Vitralock považovány za nenosné, musí odolávat vodorovnému zatížení. Při použití v interiéru (dělicí příčky) musí odolávat vodorovnému zatížení způsobenému tlakem od lidí podobně jako např. zábradlí na schodišti. Exteriérové konstrukce (fasády a výplně otvorů) musí odolávat tlaku větru. Samozřejmě není vyloučeno, že stěna může být vystavena oběma těmito účinkům.

Cílem této diplomové práce je definovat kritéria použitelnosti, stanovit rozdělení vnitřních sil na jednotlivé komponenty systému a najít omezení pro stěny ze systému Vitralock.

K dosažení tohoto cíle budou použity následující prostředky:

- Dílčí zkoušky komponentů systému Vitralock pro zjištění jejich charakteristik, tj. tuhosti a únosnosti, resp. jejich odezvy na zatížení (křivka síla-deformace).
- Numerický komponentní model stěny v programu ANSYS 18.2, při jehož konstrukci se využijí poznatky získané při experimentech.
- Parametrická studie s využitím numerického modelu pro různé rozměry skleněné stěny. Cílem je zjistit deformaci stěny při vodorovném zatížení.
- Na základě parametrické studie bude zpracováno doporučení pro použití systému Vitralock, tzn. maximální zatížení (tlakem lidí jako na zábradlí) pro různé rozměry stěny.

## 4. Experimentální část

Pro posouzení nového systému Vitralock byly navrženy dílčí zkoušky, které mají ověřit vlastnosti prvků v systému. K modelování stěny bylo nutno vyzkoušet všechny komponenty, ze kterých se stěna skládá.

### 4.1 Tlaková zkouška

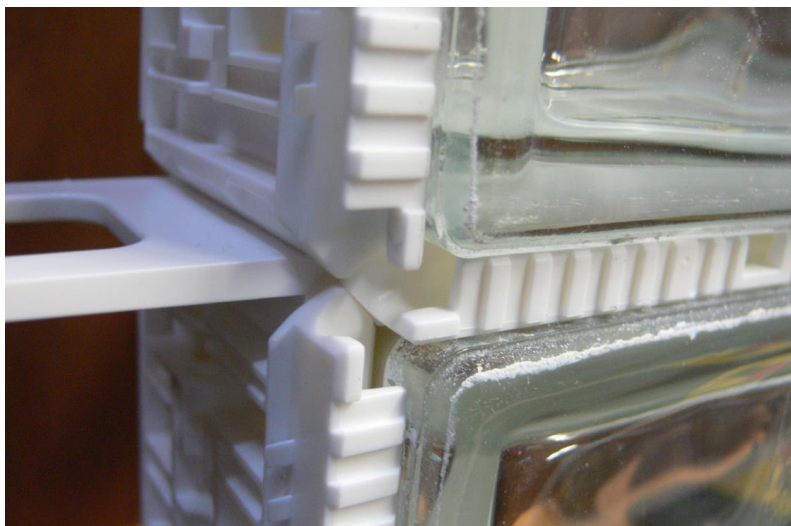
#### 4.1.1 Zkušební těleso a jeho výroba

Experiment byl proveden v prostorách laboratoře ocelových konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze v únoru a říjnu 2017. Zkušební těleso se skládá ze dvou skleněných tvárnic a spojovacího prvku uprostřed. V laboratoři byli sestaveny 3 stejné vzorky.



Obr. 34 Sestavený vzorek

Jako první byla do zatěžovacího zařízení vložena dřevěná podložka pro první dutou tvárnici. Plastové díly (distanční destičky a prostorové kříže) se spojují "suchým" zámekem a do takto vytvořeného roštu se vkládají jednotlivé tvárnice. Pro tuto zkoušku byl použit jeden rámeček. Do vodorovného rámečku byly zasunuty plastové prostorové kříže a části rámečků k dosažení reálné situace uložení ve stěně, tím byly obě luxfery navzájem vycentrovány.



*Obr. 35 Detail rohu plastového roštu*

Do rámečku byla osazena druhá tvárnice. Následně na ní bylo uložena druhá dřevěná podložka a na ní ocelová roznášecí deska s kloubem pod zatěžovacím ramenem, viz Obr. 36.



*Obr. 36 Složení horní hrany*

#### 4.1.2 Uspořádání experimentu

Sestavený vzorek byl zatížen svislou silou na horní straně vnášenou přes ocelovou desku a dřevěnou podložku, viz Obr. 37. Síla, která byla vnesena do vzorku, byla měřena přímo pomocí zatěžovacího stroje MTS Qtest 100 (max. 100 kN). Deformace ve spáře byla měřena pomocí laserového extenzometru EIR LE-05. Průměrná teplota v laboratoři byla 19°C.

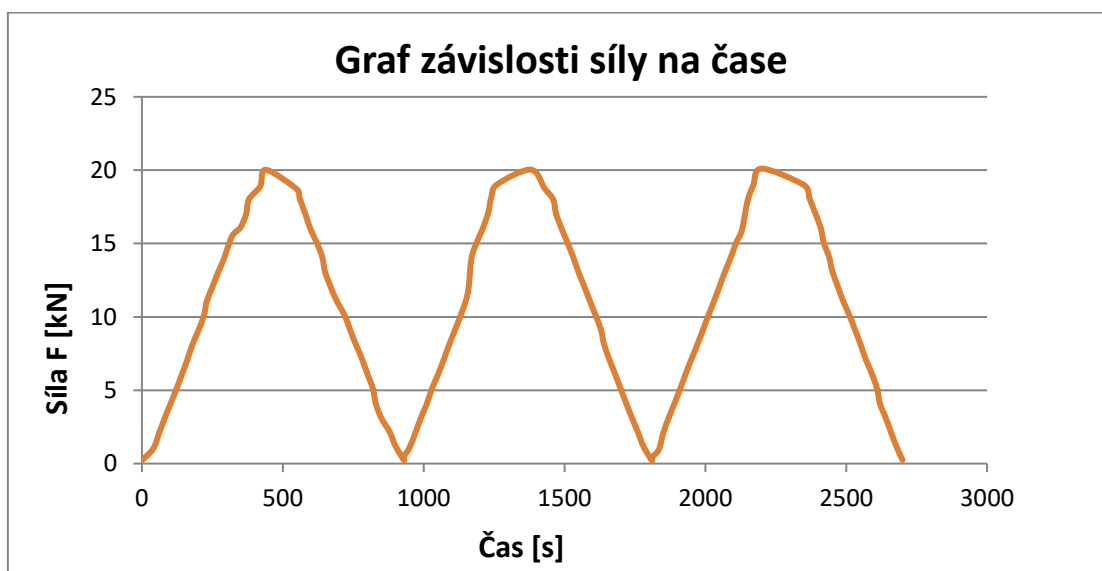


Obr. 37 Sestava s extenzometrem.

Laserový extenzometr byl umístěn do vzdálenosti 350 mm od vzorku. Měření probíhalo pomocí dvou odrazových štítků umístěných na tvárnících těsně nad spárou spojovacího rámečku.



Obr. 38 Odrazové štítky přilepené na tvárnících



Obr. 39 Průběh zatěžovací síly v závislosti na čase

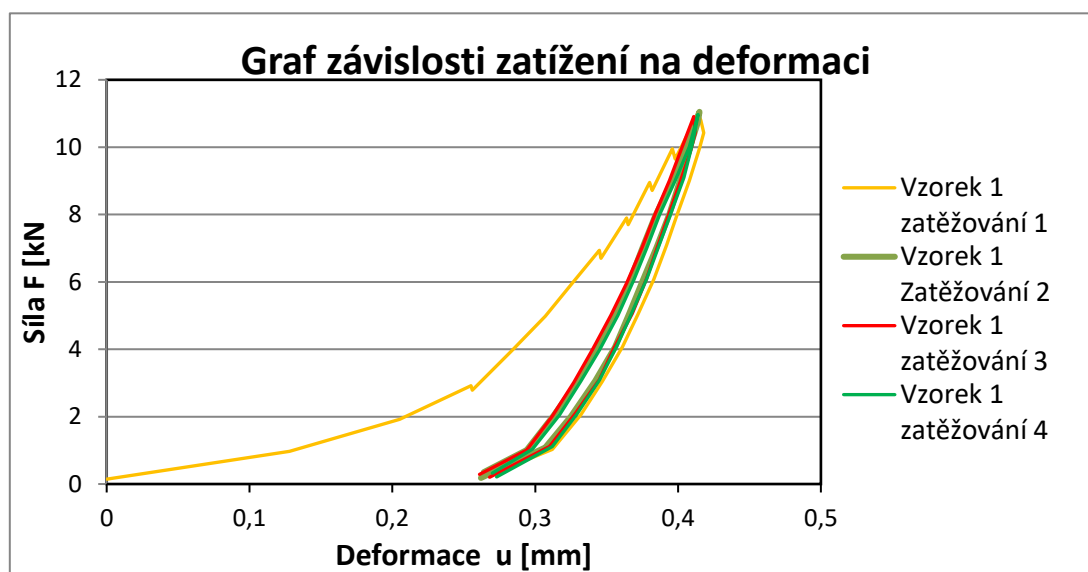
Během experimentu byla sledována síla a posun mezi dvěma body u spáry, ze kterého tak byla určena pouze deformace vodorovné spáry. Vzorek byl postupně zatěžován



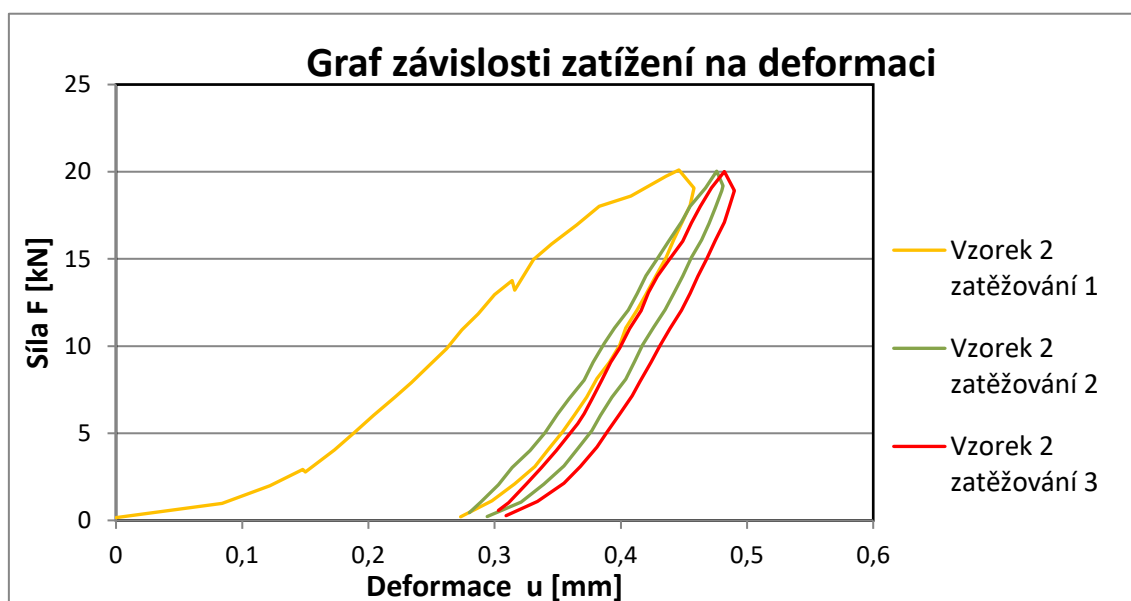
v krocích po 1 kN až na hranici 20 kN a třikrát opakován. V každém kroku byla odečtena deformace z extenzometru. Experiment byl opakován na třech vzorcích, viz Obr. 39.

#### 4.1.3 Vyhodnocení experimentu

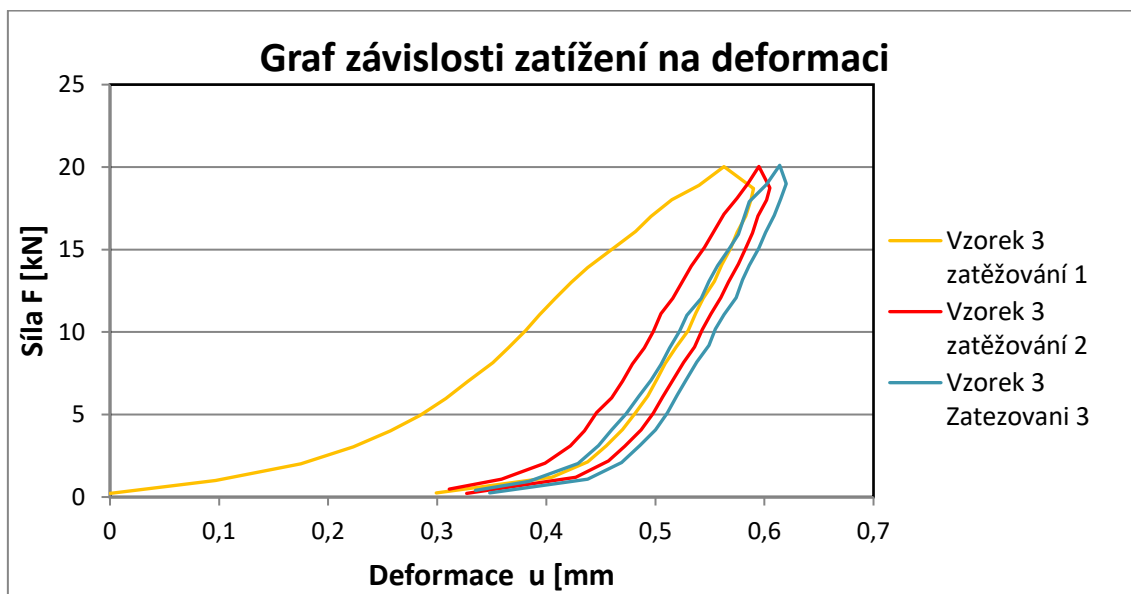
Průběh křivky od zatížení závislé na deformaci jsou podle očekávání u všech vzorků velmi podobné. K žádné velké deformaci u plastového rámečku nedošlo. Při odtížení vzorek nevykazoval žádné trvalé poškození, viz Obr. 43.



Obr. 40 Průběh síly v závislosti na deformaci vzorek 1



Obr. 41 Průběh síly v závislosti na deformaci vzorek 2



Obr. 42 Průběh síly v závislosti na deformaci vzorek 3

U vzorku č.3 se na závěr provedla zkouška až k úplné deformaci vzorku. K porušení došlo v oblasti duté skleněné tvárnice. Plastová distanční destička nevykazovala žádné otlačení v žádné části.



Obr. 43 Zdeformovaný vzorek po zatěžovací zkoušce

#### 4.1.4 Závěr

Vzorek sestavený z dvou skleněných dutých tvárnic (luxfer) a spojovacího prvku „nasucho“ pomocí plastových prvků nevykázal v průběhu zatěžování žádné deformace. Odolnost proti tlakovému namáhání je u rámečků větší než pevnost tvárnic, a tak při budoucím navrhování nebude hrát příliš velkou roli. Vzorek bez problémů přenesl svislou sílu do spodní tvárnice.

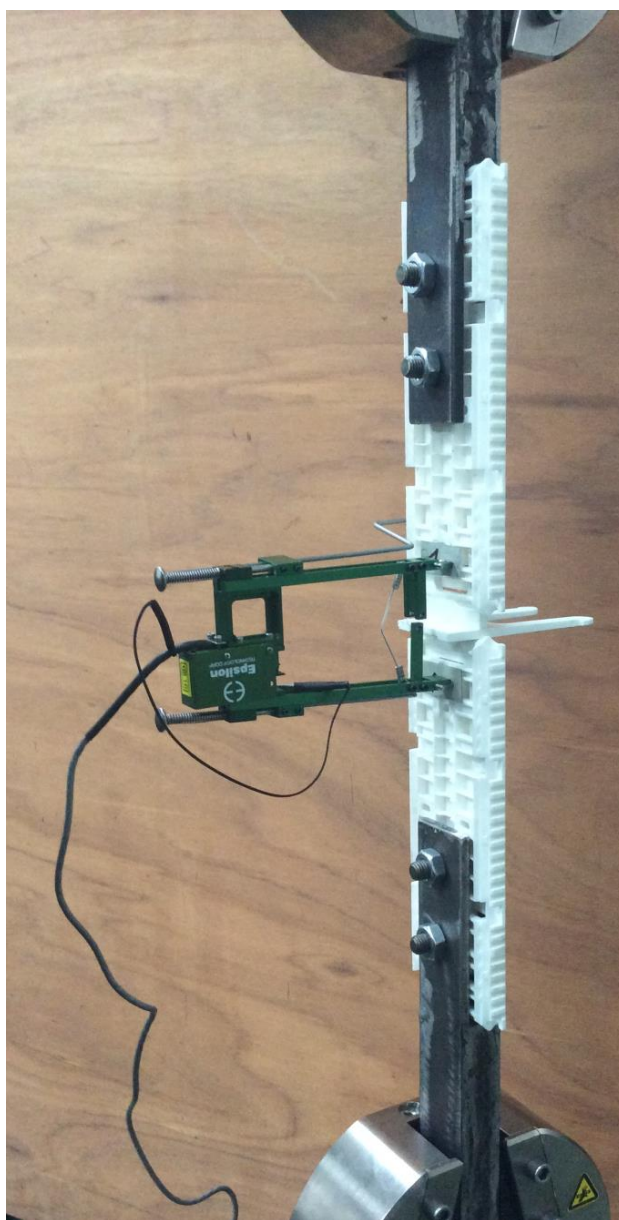
Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

## 4.2 Tahová zkouška

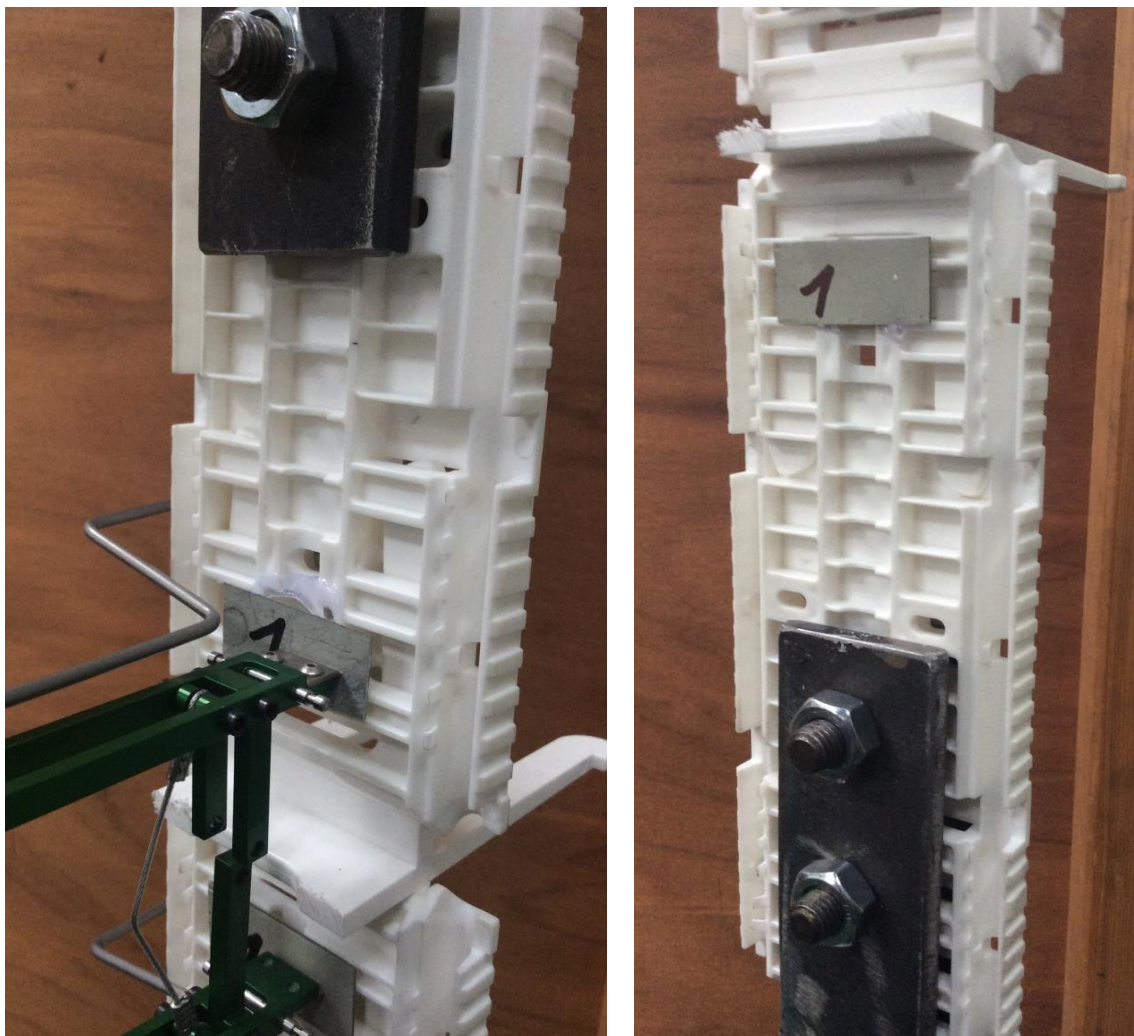
### 4.2.1 Zkušební těleso a jeho výroba

Experiment byl proveden v prostorách laboratoře ocelových konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze v říjnu 2017. Zkušební těleso se skládá ze dvou distančních destiček spojených pomocí plastového prostorového kříže.



Obr. 45 Sestavený vzorek pro tahovou zkoušku

Jako první byly vyrobeny dvě ocelové přípravky pro uchycení vzorku centricky do tahových čelistí zkušebního stroje. Následně do rámečků byly vyvrtány díry pro šrouby, pomocí kterých byly uchyceny rámečky k přípravkům, viz Obr. 45.

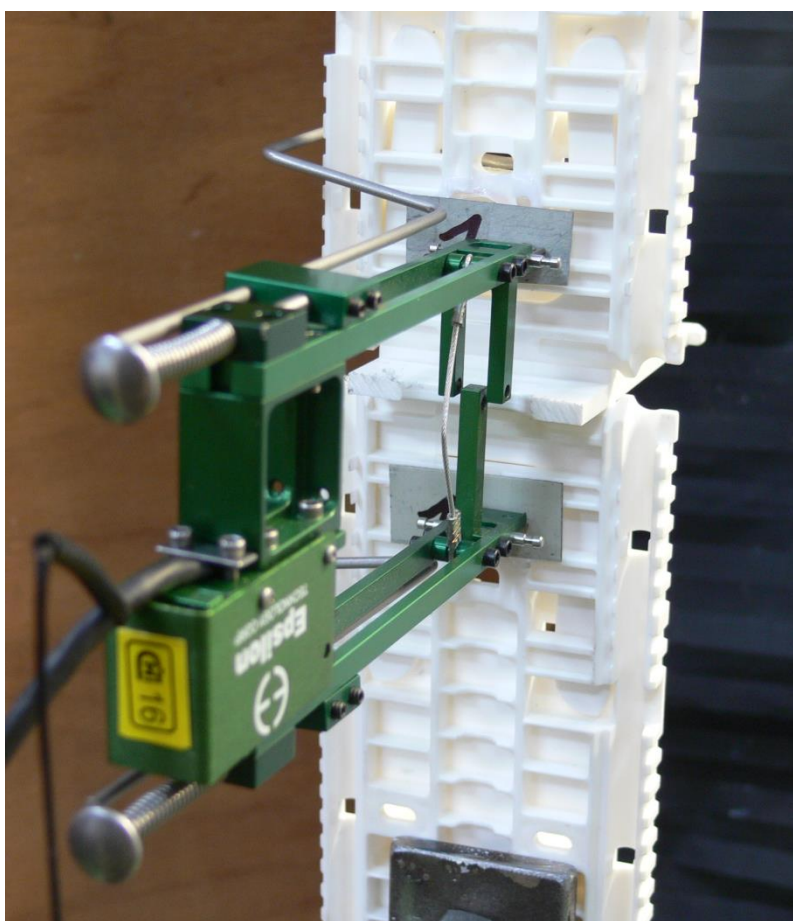


Obr. 46 Detail připojení extenzometru

Na konec byly rámečky spojeny pomocí plastového prostorového kříže. Pro měření přetvoření pomocí kontaktního extenzometru byly nalepeny rovné plíšky kvůli nerovnosti povrchu rámečků, viz Obr. 46.

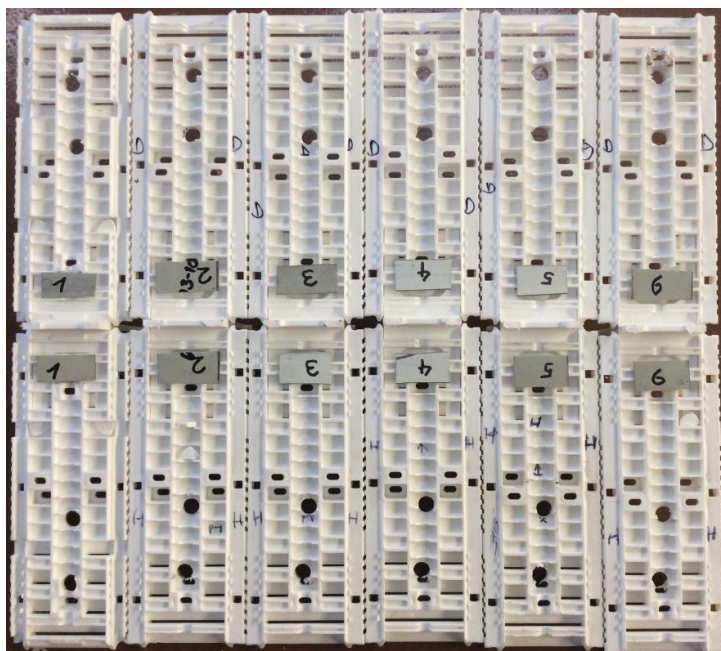
## 4.2.2 Uspořádání experimentu

Sestavený vzorek byl zatížen tahovou silou pomocí posuvných čelistí. Vzorek byl zatěžován svislými silami vnášenými přes ocelové přípravky a šrouby. Sílu, která byla vnesena do vzorku byla měřena přímo pomocí zatěžovacího stroje MTS Qtest 100 (max. 100 kN). Přetvoření prvku bylo měřeno přímo pomocí extenzometru Epsilon 3542. Průmerná teplota v laboratoři byla 20°C.



*Obr. 47 Připojený kontaktní extenzometr*

Během experimentu byla sledována síla a přetvoření, které bylo sledováno v místě spoje rámečků. Vzorek byl automaticky zatěžován až do porušení. Experiment byl opakován na 6 vzorcích.

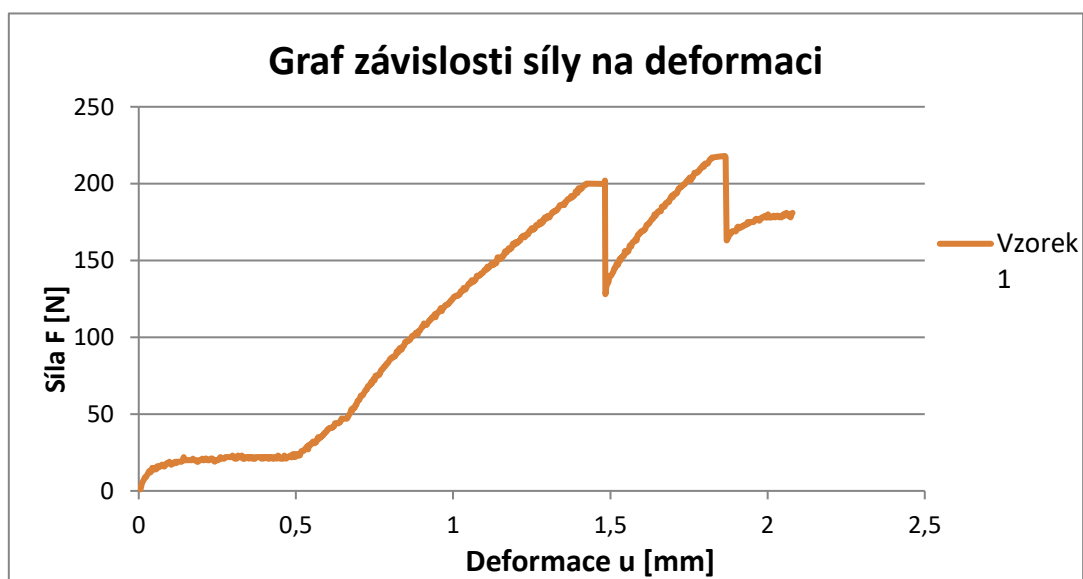


Obr. 48 Připravené vzorky bez ocelových přípravků

### 4.2.3 Vyhodnocení experimentu

V případě všech vzorků došlo k úplnému porušení. U vzorků došlo k ulomení plastových paciček prostorového kříže.

#### Vzorek 1



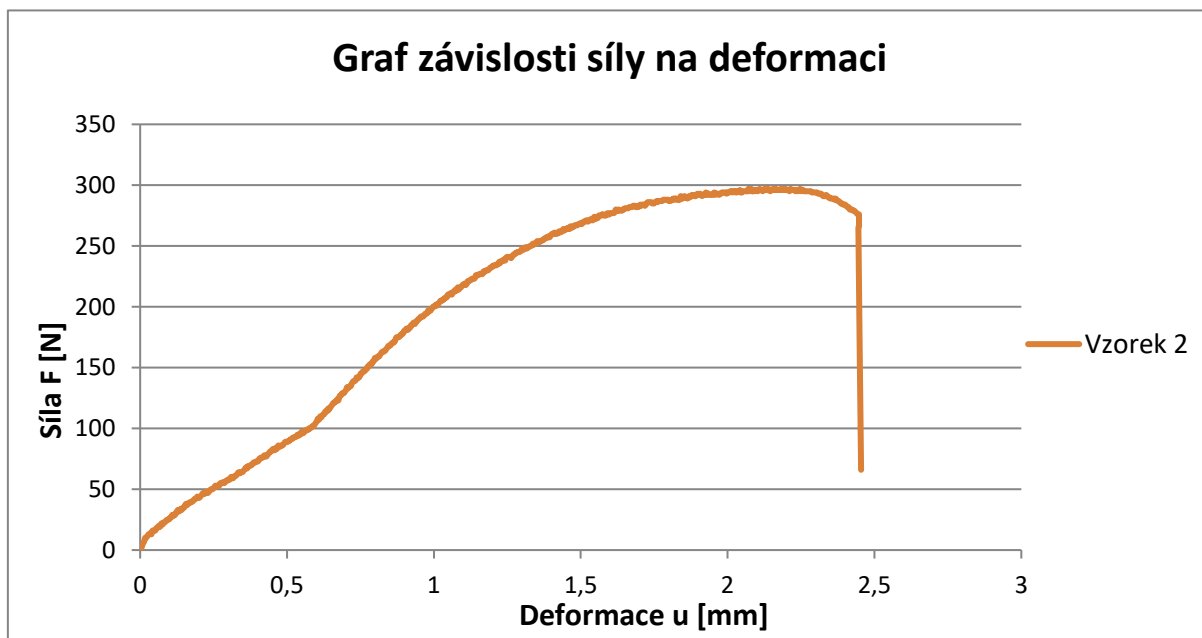
Obr. 49 Průběh síly v závislosti na deformaci vzorek 1

Vzorek č. 1 vykazoval při zkoušce netypické chování vůči ostatním vzorkům, viz Obr. 49. Toto chování způsobilo špatné uchycení v čelistech u zatěžovacího stroje, a proto byl vzorek z dalšího vyhodnocení vyloučen.



Obr. 50 Porušení paciček prostorového kříže

## Vzorek 2



Obr. 51 Průběh síly v závislosti na deformaci vzorek 2





Obr. 52 Porušení jedné strany plastových paciček

Další zkušební vzorky vykazovaly podobné chování jako vzorek č.2. Vždy došlo k porušení "paciček" prostorového kříže, viz obr. 49, obr. 53 Typická závislost síly na deformaci pro vzorek č.2-6 je na Obr. 51.

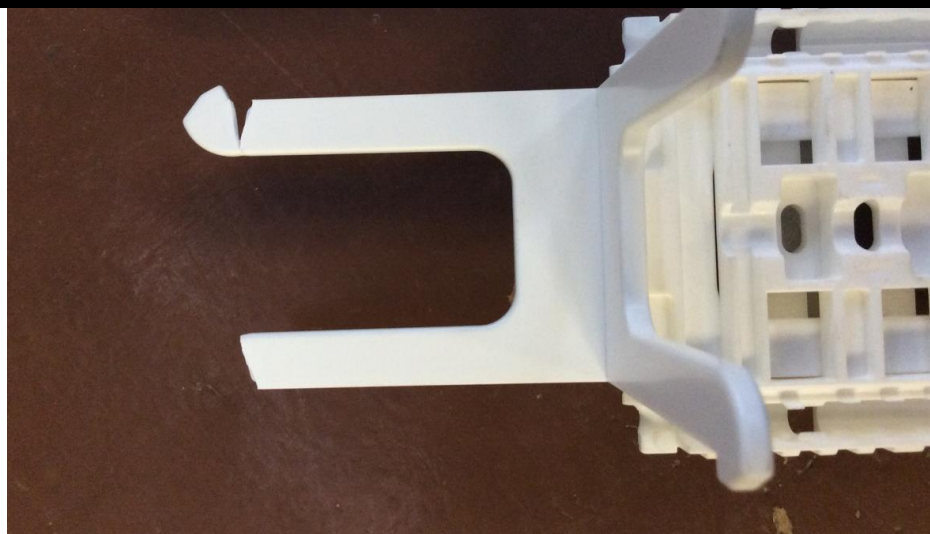
#### 4.2.4 Závěr

Vzorek sestavený ze dvou distančních vymezočů spojených pomocí prostorového kříže ukázal slabé místo tohoto nového spojovacího systému. Plastové kříže s "pacičkami" umožňují rychlé spojení dvou rámečků, ale bohužel je to místo porušení.

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné



Obr. 55 Prasklé "pacičky"

## 4.3 Vytažení výztuže z kotvení

### 4.3.1 Zkušební těleso a jeho výroba

Experiment byl proveden v prostorách Experimentálního centra Fakulty stavební ČVUT v Praze v listopadu 2017. Zkušební těleso se skládá ze dvou distančních destiček spojených pomocí prostorového kříže s výztuží. Zkouška sloužila k určení materiálových charakteristik výztužných tyčí v kotvení pro model komponent.



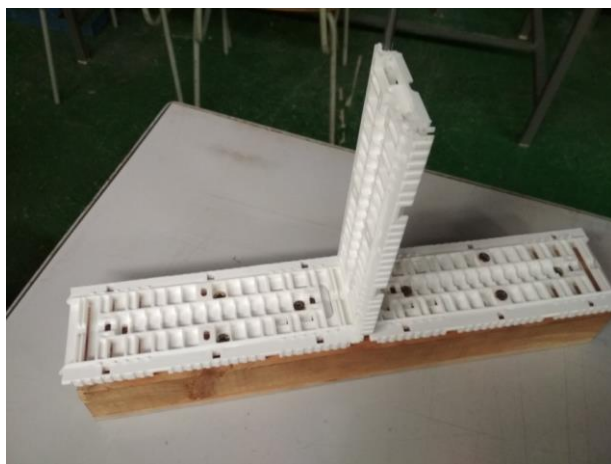
Obr. 56 Sestavený vzorek před zkouškou

Jako první byl použit dříve vyrobený speciální ocelový rám. Byl svařený z SHS profilů 60x60x4 a ocelového plechu o tloušťce 5 mm s odnímatelnou spodní částí. Byl navrhnutý tak, aby vydržel zatížení až do 50 kN. Rám sloužil pro přenášení zatížení z posuvných čelistí do tažené výztuže. Ocelová stolice sloužila jako podpora pro vzorek.

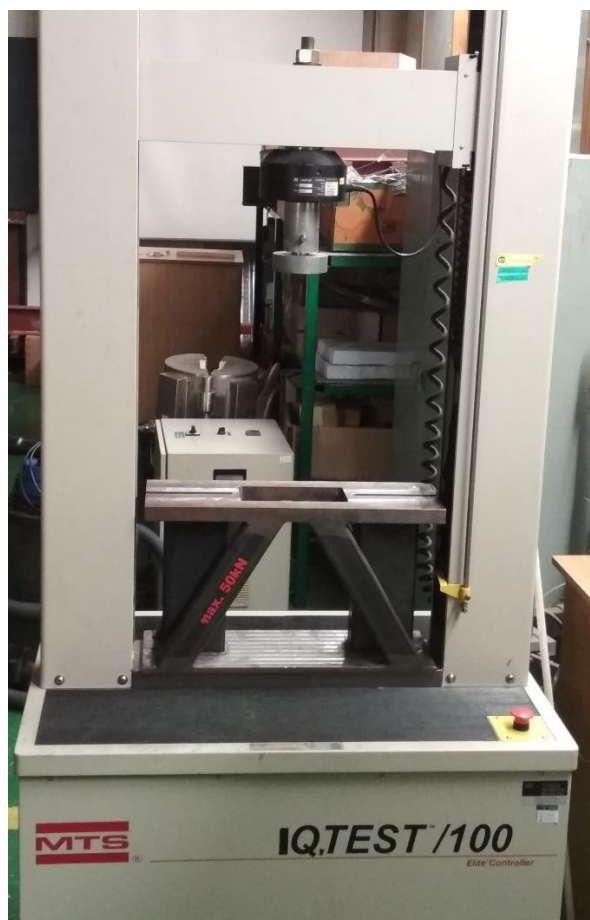


*Obr. 57 Speciální ocelový rám*

Do rámečků byla vložena výztuž o průměru 5 mm a následně byl plastový rámeček přišroubovaný k dřevěnému trámu, viz Obr. 58, který byl položený mezi dvě skleněné tvárnice. Dřevěný trámek byl shora přitažený ke stolici pomocí ocelových úhelníků a závitových tyčí. Celý sestavený vzorek byl podložený OSB deskou a ocelovými plechy pro eliminování různého sedání tvárnic v místě otvoru pro výztuž. Výztuž byla vytažena dírou v OSB desce až do rámu, viz Obr. 56 a uchycena pomocí podložek a maticek.



*Obr. 58 Přišroubovaný rámeček k dřevěnému trámu*



Obr. 59 Ocelová stolice uložena do zatěžovacího stroje

### 4.3.2 Uspořádání experimentu

Sestavený vzorek byl zatížen tahovou silou pomocí posuvného válce a rámu. Zatěžování probíhalo svislé dolů přes ocelový rám, kde bylo taženo za konec výztuže. Výztuž s ohybem na koncích v úhlu 90° s délkou 70 mm byla vložena do plastových rámečků a procházela distanční destičkou mezi skleněnými tvárnici až pod stolicí, kde byla uchycena do ocelového rámu. Síla byla vnesena do vzorku přímo pomocí zatěžovacího stroje MTS Qtest 100 (max. 100 kN). Deformace byla měřena na konci výztuže pod ocelovým rámem a na pevné části stolice pomocí laserového extenzometru EIR LE-05 s měřícími odrazovými proužky na magnetkách, viz Obr. 60. Pro přenos výsledků do počítače byla použita centrála Spider 8. Průměrná teplota v laboratoři byla 18°C. Během experimentu byla sledována síla vnesená do výztuže a vytažení výztuže z kotvení. Experiment byl opakován na 6 vzorcích.



Obr. 60 Připojený laserový extenzometr

---

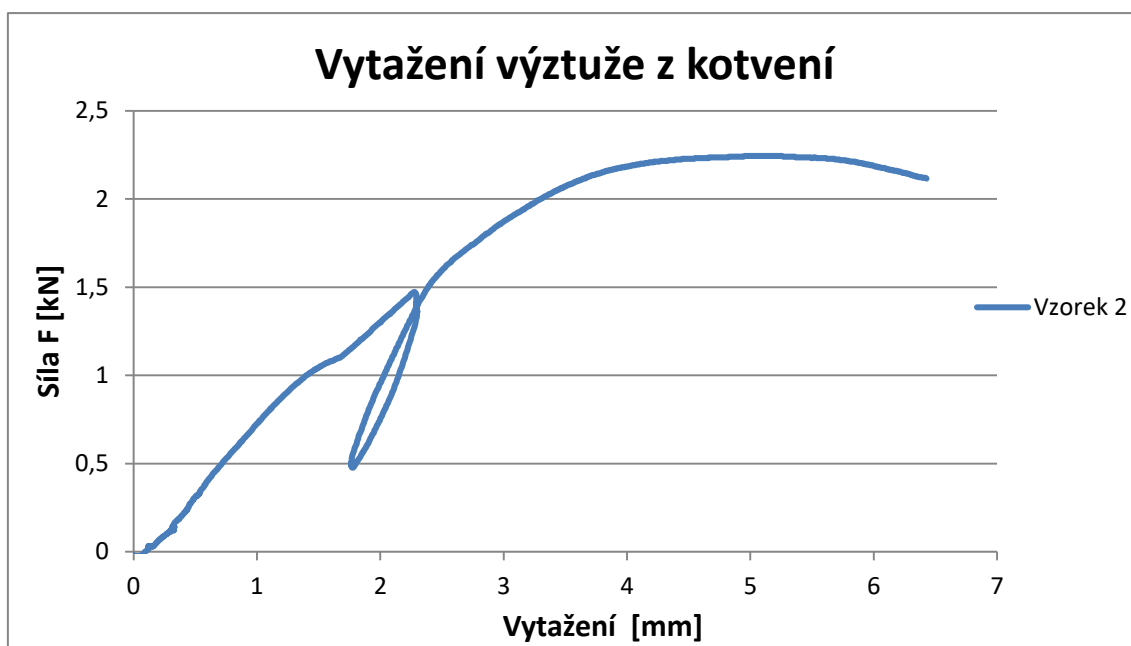
VITRALOCK

systém pro stěny z dutých skleněných tvarovek

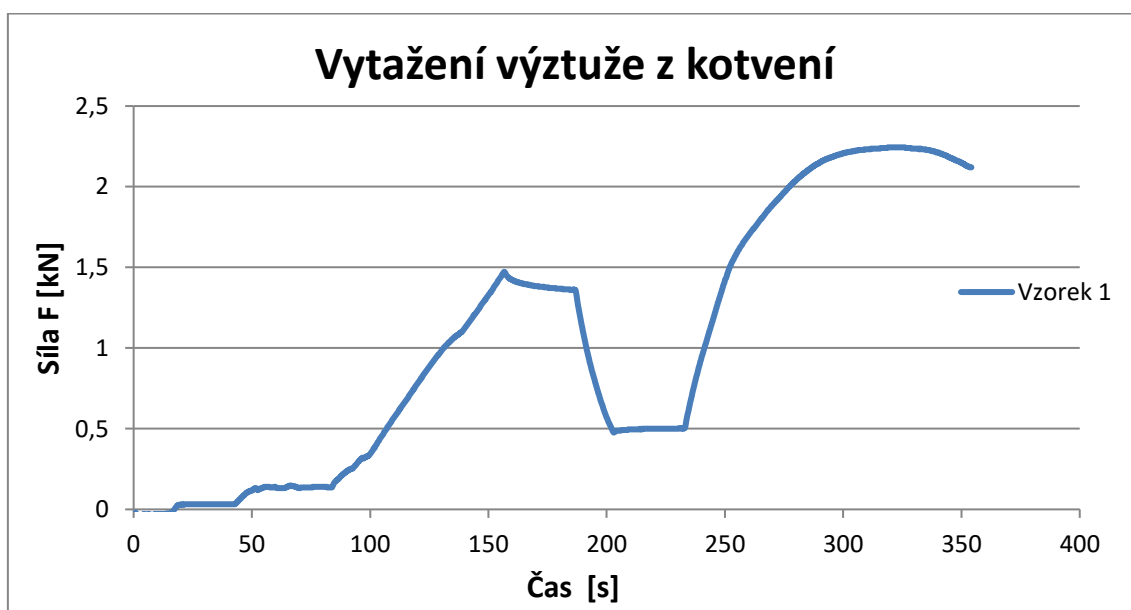
### 4.3.3 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Zatěžování probíhalo do 1,5 kN, kde se začalo odtěžovat na 0,5 kN a poté se opět zatěžovalo rychlostí 2mm/s až do porušení vzorku.

#### Vzorek 3



Obr. 61 Průběh síly v závislosti na vytažení



Obr. 62 Graf závislosti síly na čase

Vzorek č. 1-6 vykazovali velice podobné chování. Nejdříve došlo při tažení výztuže k vycvaknutí z rámečku a opření výztuže o dřevěný trámek, viz Obr. 63.



*Obr. 63 Opření výztuže o dřevěný trámek*

Poté došlo k dalšímu vytahování výztuže ze spoje a zlomení rohu plastového rámečku, viz Obr. 64.



*Obr. 64 Zdeformovaný roh rámečku*



#### 4.3.4 ZÁVĚR

Vzorek sestavený ze simulovaného kotvení výztuže ukázal velký vliv na celkové působení stěny. Výztuž bude zachycovat většinu vodorovných sil působících na stěnu. Díky vložené výztuži se stěna z dutých skleněných tvárnic bude moci používat pro větší

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

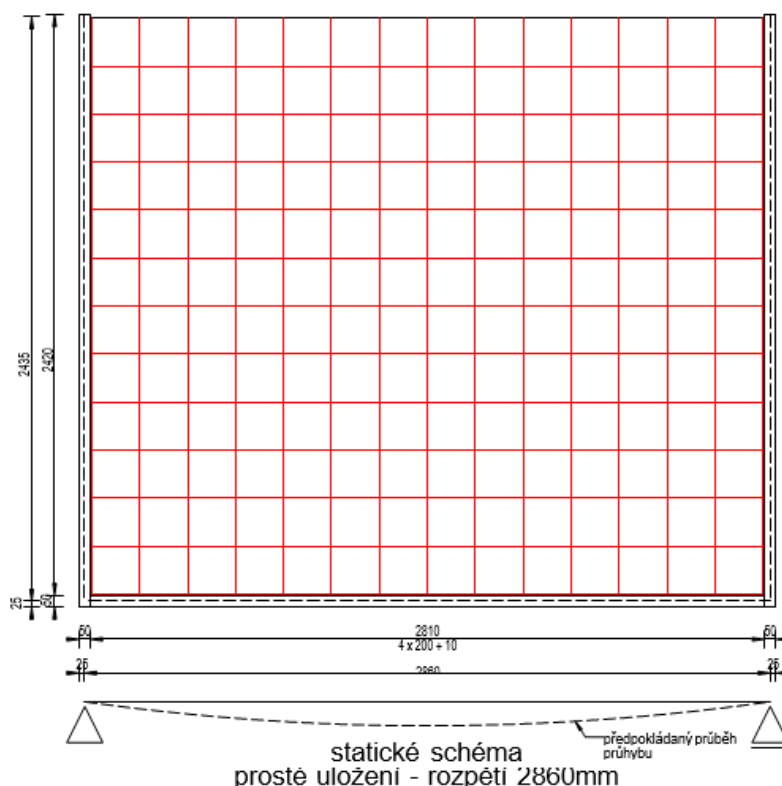
## 4.4 Zkouška celé stěny

Dalším experimentem, který byl proveden, byla zkouška stěny sestavené z dutých skleněných tvárnic (luxfer), zatížena liniovým vodorovným zatížením do porušení. Skleněné tvárnice byly vzájemně spojeny „nasucho“ pomocí plastových prvků, které tak tvoří alternativu ke klasickému postupu – zdění tvárnic pomocí malty. K zajištění dostatečné tuhosti celého systému byly použity ocelové výztužné pruty umístěné z obou stran stěny. Spáry v případě experimentální stěny byly vyplněny z obou stran spárovací hmotou určenou pro obdobné konstrukce (CE 43 Grand'Elit, Ceresit). [9]

### 4.4.1 Zkušební těleso a jeho výroba

Experiment byl proveden v prostorách Experimentálního centra Fakulty stavební ČVUT v Praze v září 2016. Stěna se skládala ze 12 řad po 14 tvárnicích. Celkové rozměry byly 2,81 m na šířku a 2,42 m na výšku, viz Obr. 67.

#### ČELNÍ POHLED



Obr. 67 Statické schéma stěny

Stěna byla složena z jednotlivých tvárnic přímo v laboratoři Fakulty Stavební ČVUT. Plastové díly (rámečky a prostorové kříže) se spojují "suchým" zámekem a do takto vytvořeného roštu se vkládají jednotlivé tvárnice. Obdélníkové rámečky byly na spodním i bočních okrajích stěny kotveny do dřevěného rámu pomocí 4 vrutů 4/35 mm s půlkulatou hlavou, viz Obr. 68.

Dřevěný rám, který vymezoval velikost stěny z dutých skleněných tvárnic, byl složen z hranolů 50/80 mm vzájemně spojených v rozích vruty.



Obr. 68 Kotvení krajních rámečků k dřevěnému rámu

System plastových dílců je navržen tak, že umožňuje vyztužení stěny ocelovými pruty při jednom povrchu ve svislém směru a při druhém ve vodorovném směru. V případě zkoušené stěny bylo vyztužení provedeno tak, že svislé pruty byly na tlačené straně, tedy straně vnášení zatížení. Vodorovné pruty byly umístěny na protilehlé, tj. na tažené straně stěny. K vyztužení bylo použito hladké oceli průměru 5 mm ohnuté na koncích v úhlu 90°. Délka koncové části prutů za ohybem byla přibližně 60 - 70 mm. Na obr. 61 je zdokumentována první řada plastových rámečků připojená k dřevěnému rámu včetně osazené svislé výztuže před vložením první řady dutých tvárnic.



*Obr. 69 První řada připravená na osazení tvárnic*

Na Obr. 69 je první řada s osazenými tvárnicemi připravená na zaklopení plastovou lištou (složenou z rámečků a prostorových křížů) a osazení vodorovné výztuže.



*Obr. 70 Hotová první řada*

Po vyzdění všech řad byla celá stěna vyspárována z obou stran. Horní okraj stěny ze skleněných tvárnic nebyl souvisle kotven, pouze byl přes roznášecí trámek vyklínován vůči podpůrnému ocelovému rámu. Samotný dřevěný rám sestavený z dřevěných hranolů byl kotven k podpůrné ocelové konstrukci zkušebního rámu, viz Obr. 70. Stěna byla při spárování dočasně zajištěna vodorovným nosíkem pro zmenšení vodorovných deformací v průběhu spárování, jak je patrné z Obr. 71.



*Obr. 71 Tlačená strana stěny před spárováním*

#### 4.4.2 Uspořádání experimentu

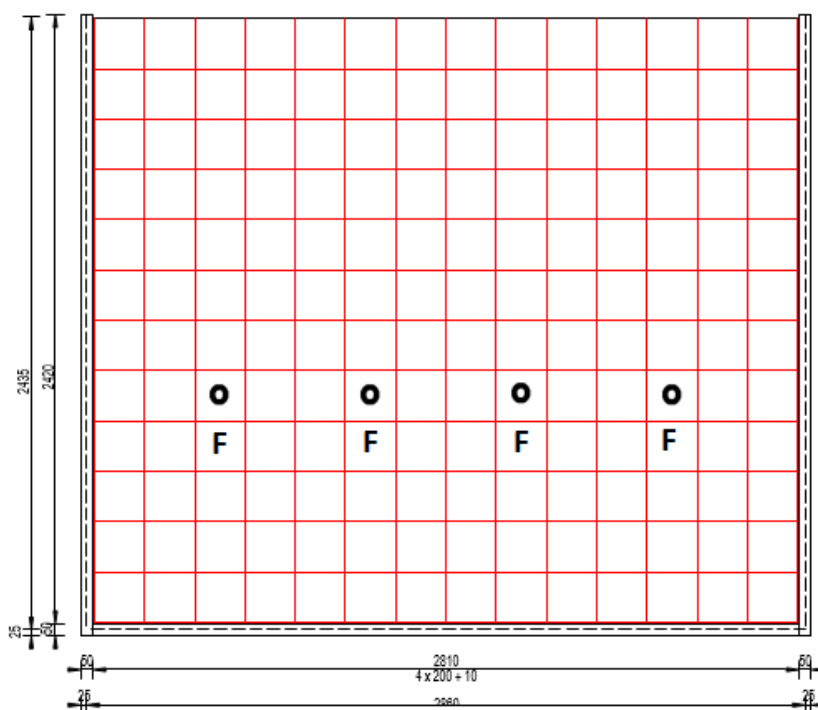
Sestavená stěna byla zatížena náhradním horizontálním zatížením ve výšce 900 mm, tj. v úrovni 5. řady tvárnic, které simulovalo rovnoměrné liniové horizontální zatížení. Stěna byla zatížena vodorovnými silami vnášenými přes systém vahadel tak, aby na stěnu působily čtyři stejně velké síly, viz Obr. 72. Každá ze sil byla vnášena přes roznášecí dřevěnou podložku do středu skleněné tvárnice, viz Obr. 73. Schéma rozložení zatížení je patrné z Obr. 74.



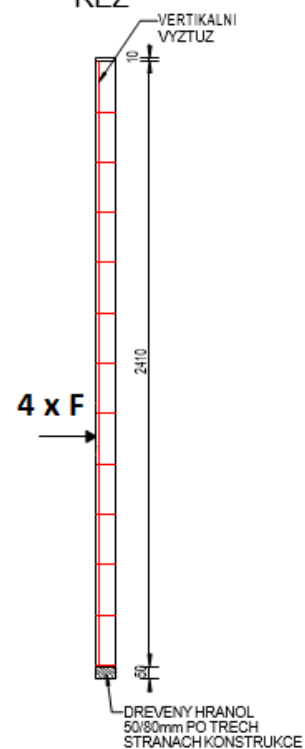
Obr. 72 Systém vahadel roznášejících zatížení

Obr. 73 Roznášecí deska

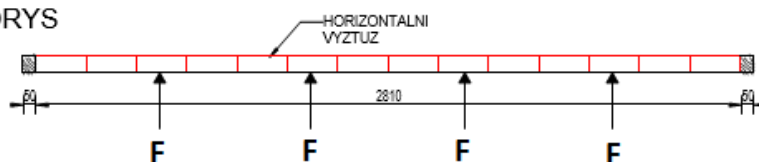
ČELNÍ POHLED



ŘEZ



PŮDORYS



Obr. 74 Schéma rozložení zatížení

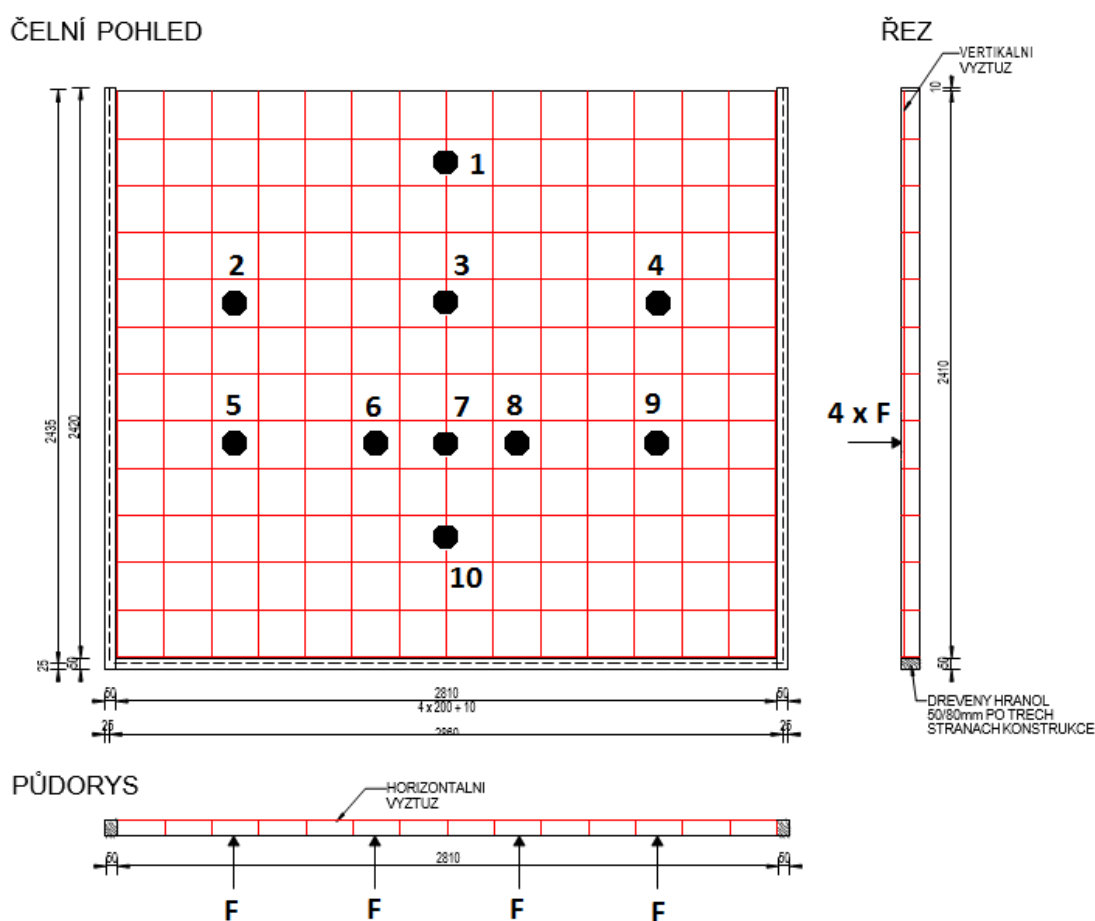
VITRALOCK

systém pro stěny z dutých skleněných tvarovek



Zatížení stěny probíhalo v 22 zatěžovacích krocích. Zatěžování bylo řízeno deformací v bodě 7, viz obr. 71. V každém zatěžovacím kroku deformace plynule narůstala do požadované hodnoty vodorovného průhybu stěny, potom byla stěna ponechána pod zatížením po dobu 1 minuty pro dosažení ustáleného stavu. Následně byla zatěžovací síla plynule snížena na nulovou hodnotu, která byla držena po dobu 1 minuty k dosažení ustálené deformace. V poslední kroku byla stěna zatížena až do porušení konstrukce.

K měření zatěžovací síly byl použit siloměr Interface 1238EXQ (max. 250 kN), který byl umístěn mezi hydraulický válec a soustavu vahadel. Pro zatěžování byl použit hydraulický válec Enerpac RC106 – D 1401C (max. 100 kN) s ručním čerpadlem Enerpac P392.



Obr. 75 Schéma měřených bodů

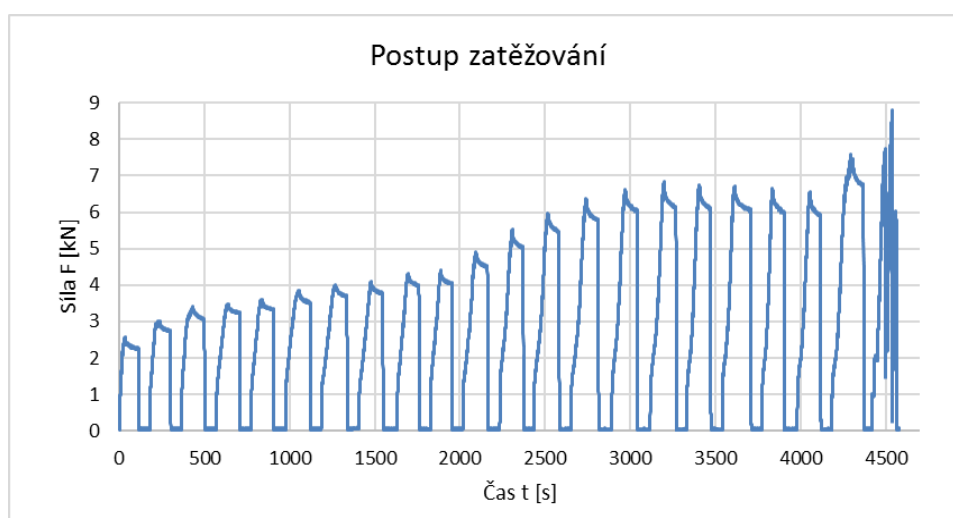
Během experimentu byly sledovány průhyby na 10 místech konstrukce, viz obr. 10. V těchto bodech byly na konstrukci nalepeny háčky, ke kterým byly přes ocelové lanko průměru 0,2 mm připevněny kladičkové potenciometrické snímače dráhy o rozsahu 0–100 mm. Háčky byly na sestavenou stěnu nalepeny na tažené straně, viz obr. 11. Deformace tedy mohla být sledována v horizontálním směru v linii zatížení (body 5–9), vertikálně pak byla sledována deformace uprostřed stěny (body 1, 3, 7, 10) a pro doplnění byly osazeny potenciometry na body 2 a 4.



Obr. 76 Háček snímače v bodu 2

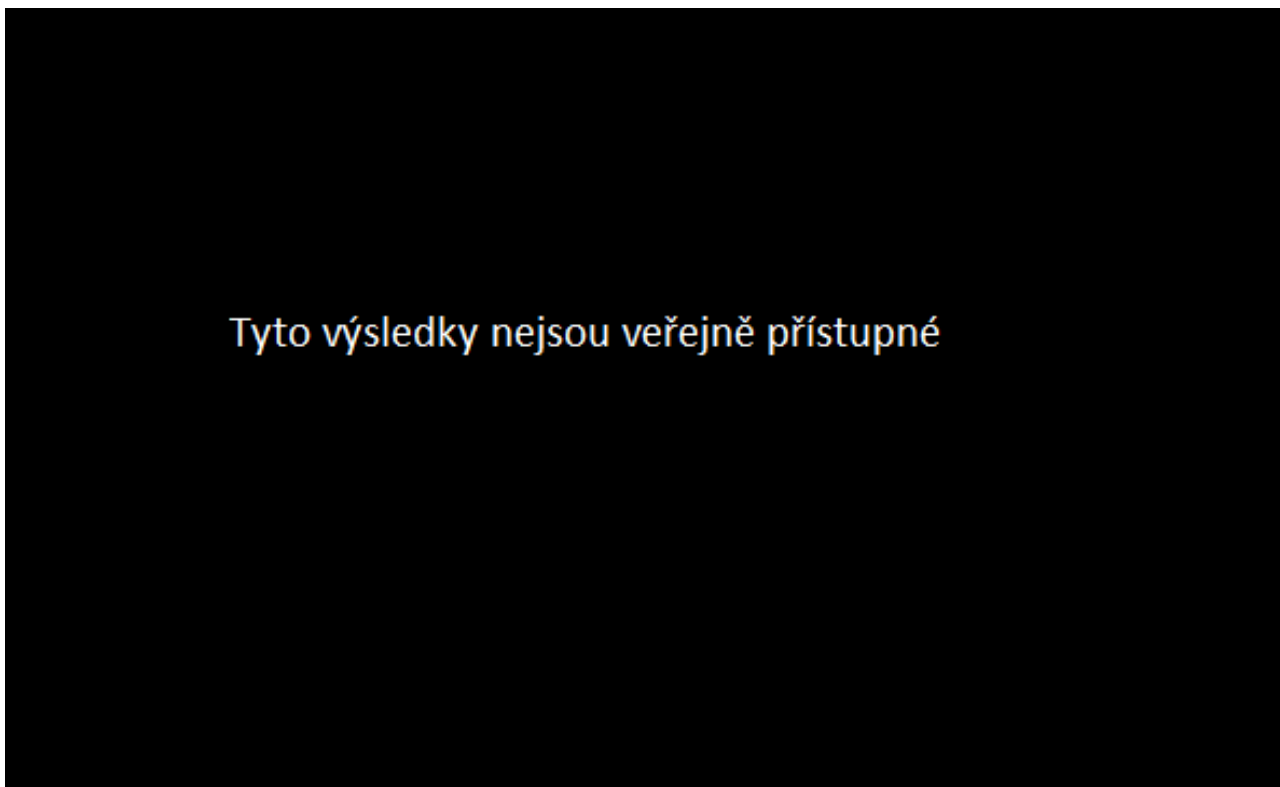
#### 4.4.3 Vyhodnocení experimentu

Průběh zatěžování, popsáný v předchozí kapitole, je patrný z grafu na obr. 73. Graf znázorňuje závislost celkové síly  $F$  na čase  $t$ .



Obr. 77 Závislost zatěžovací síly na čase

V grafu na Obr. 78 je vykreslen průběh síly  $F$  v závislosti na narůstající deformaci  $w$  pro



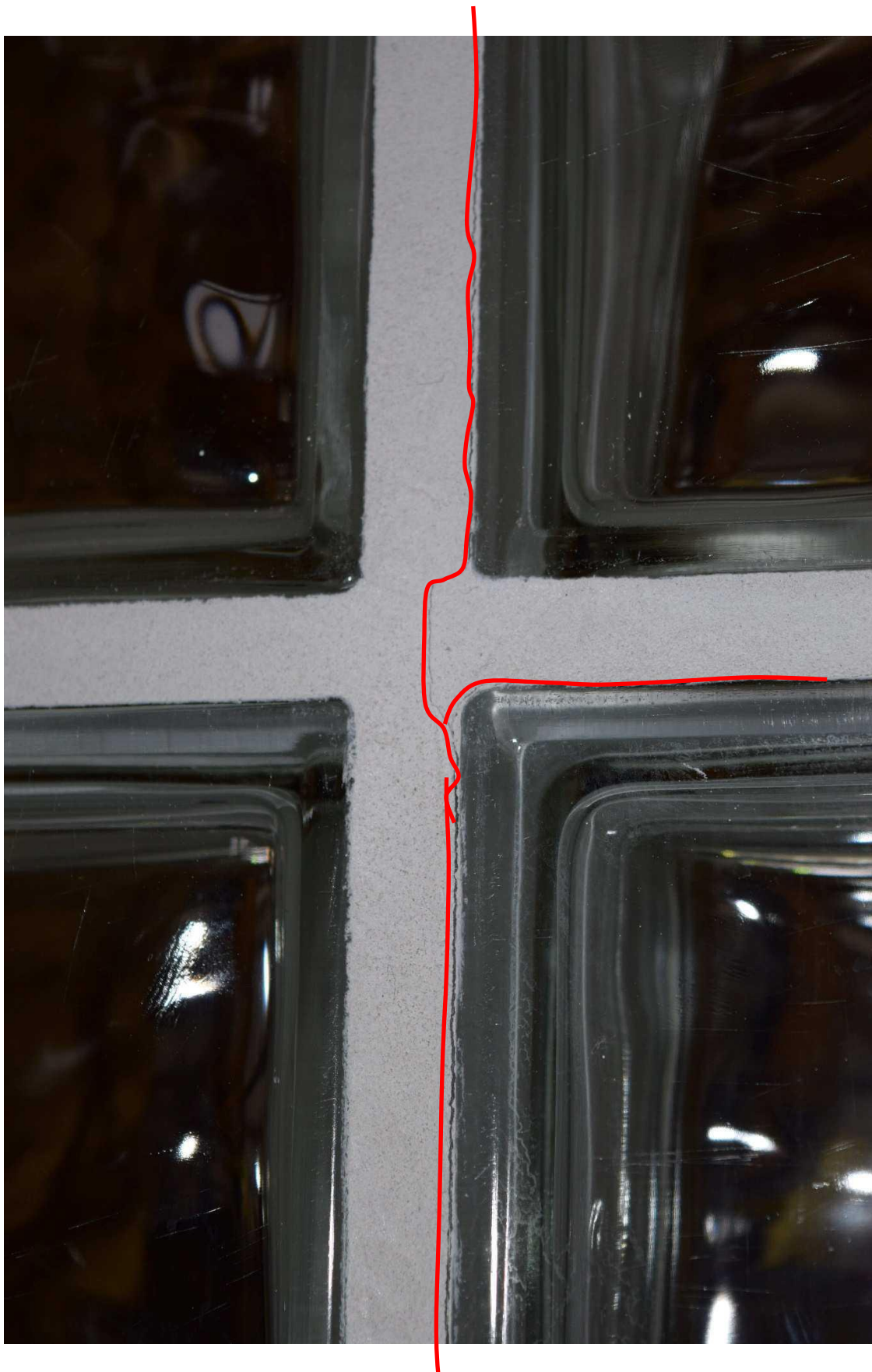
*Obr. 78 Průběh síly v závislosti na deformaci pro všechny body konstrukce*

Přehled vodorovné deformace ve všech měřených bodech pro tři různé úrovně zatížení je uveden v tab. 1. K porušení celistvosti stěny došlo při síle  $F_{max} = 8,8 \text{ kN}$ , přičemž maximální deformace  $w_{max} = 97 \text{ mm}$  nastala v bodech 6 a 8.

Tab. 3 Souhrn výsledků pro vybrané síly v měřených bodech

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné



Obr. 79 První trhliny na tažené straně

---

VITRALOCK

systém pro stěny z dutých skleněných tvarovek



Obr. 80 Rozvoj trhlin na tažené straně

---

VITRALOCK

system pro stěny z dutých skleněných tvarovek

Výrazné trhliny na tlačené straně se objevily při vodorovné deformaci 45 mm, Obr. 81, a k odpadávání spárovací malty na tlačené straně stěny došlo při vodorovné deformaci 60 mm, viz Obr. 83.



*Obr. 81 Trhliny na tlačené straně*

Při odtížení stěna nevykazovala výrazné trvalé deformace až do průhybu  $w \cong 95 \text{ mm}$ , kdy pravděpodobně došlo k plastické deformaci výztužných prutů. Při odtížení pak zůstala stěna deformovaná, jak je vidět na Obr. 83 a Obr. 84.



Obr. 82 Deformace stěny v závěrečné fázi zatěžování

---

VITRALOCK

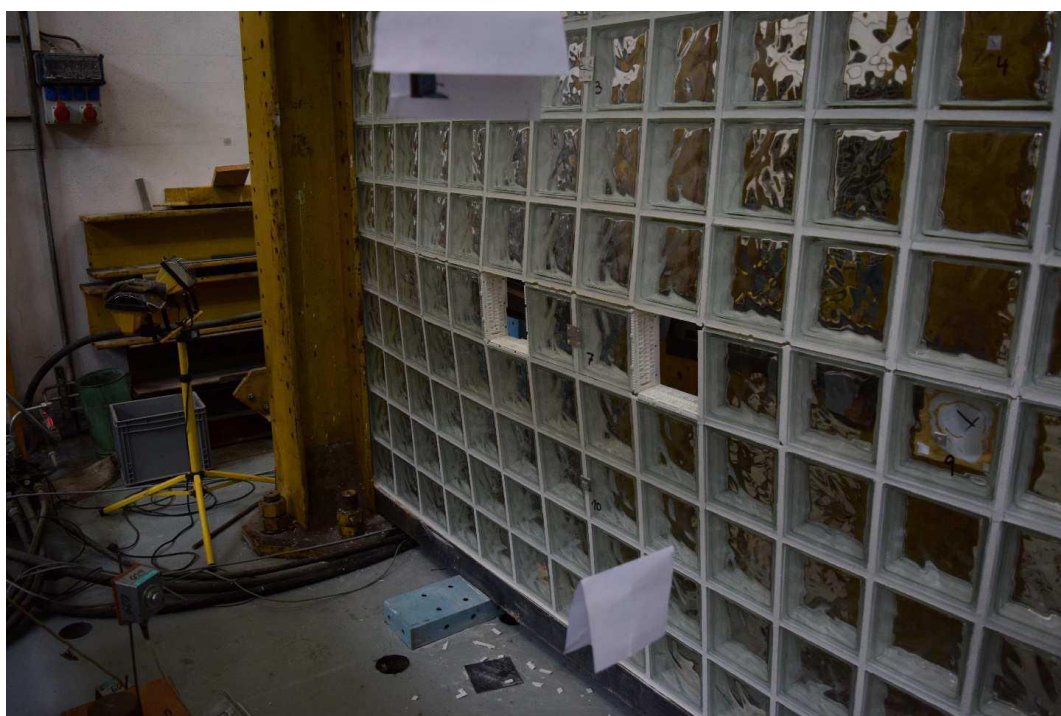
systém pro stěny z dutých skleněných tvarovek



Porušení stěny nastalo protlačáním 2 dutých tvárnic v bodech č. 6 a 8 při zatížení 8,8 kN, tj. 2,2 kN v každém zatěžovacím bodu, obr. 79 a obr. 80. Maximální vodorovná deformace stěny při porušení dosáhla 97 mm. Ke kolapsu celé stěny nedošlo ani při vytlačení dvou skleněných tvárnic.



*Obr. 83 Protlačování tvárnice*



*Obr. 84 Stěna po ukončení experimentu*

---

VITRALOCK

system pro stěny z dutých skleněných tvarovek

#### 4.4.4 Závěr

Stěna sestavená z dutých skleněných tvárnic (luxfer) vykazala v průběhu zatěžování tuhost a odolnost na vodorovné liniové/bodové zatížení. Systém plastových rámečků a prostorových křížů s výztužnými ocelovými pruty je schopen přenášet vodorovné zatížení a lze ho použít i u stěn větších rozměrů, jak prokázal experiment. Nezbytné je ve všech případech kotvení do dřevěného obvodového rámu a zajištění horního okraje stěny.

Rozhodujícím mezním stavem pro konstrukci stěny je jednoznačně mezní stav použitelnosti. Z hlediska použitelnosti je dle ČSN EN 13116 „Lehké obvodové pláště – Odolnost proti zatížení větrem – Funkční požadavky“ limitní hodnota vodorovné deformace  $L/200$ . Pro zatěžovanou stěnu tedy je  $\delta_{lim} = 2410/200 = 12,0 \text{ mm}$ . Limitní deformace bylo dosaženo v bodu č. 5 při celkovém zatížení  $F = 3,58 \text{ kN}$ .

I při deformacích nad  $\delta_{lim}$  se chová stěna pružně, při odtížení vykazuje trvalé deformace, které jsou z hlediska použitelnosti zanedbatelné. Výrazné plastické deformace stěny bylo dosaženo při hodnotě  $w \cong 95 \text{ mm}$ , kdy došlo k ohnutí výztužných ocelových prutů.

Jednoznačnou výhodou tohoto typu stěn je robustnost, při porušení jedné nebo více dutých tvárnic nedojde k celkovému kolapsu stěny. [9]

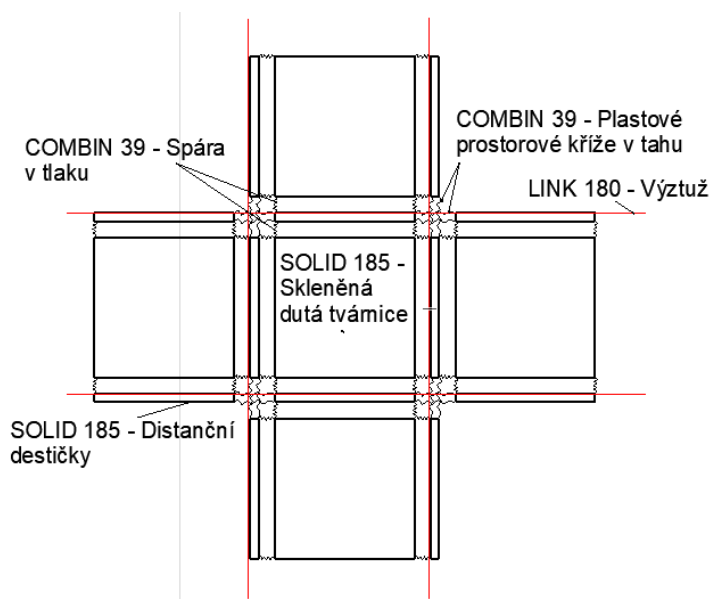
## 5. Numerická analýza

S novou výpočetní technikou dochází k novému používání numerických metod, které vyřeší i nejsložitější problémy. Převážně se používá metoda konečných prvků MKP. Tato metoda rozdělí těleso na malé části, které jednodušeji popíše. Parametry jsou určovány v jednotlivých uzlových bodech prvků.

V současné době je na trhu k dispozici spousta výpočetních programů pro metodu konečných prvků. V této diplomové práci byl využit program Ansys 18.2. Program je v počítačových učebnách katedry ocelových a dřevěných konstrukcí anebo volně ke stažení verze Academic na stránkách Ansys.

### 5.1 Numerický komponentní model

Ve výpočetním programu Ansys 18.2 byl vytvořen model skleněné stěny spojované pomocí plastových rámečků Vitralock, který měl potvrdit a ověřit výsledky získané v experimentální části. Jako vstupní údaje byly použity naměřené hodnoty z jednotlivých dílčích experimentů. Pro verifikaci modelu byl použit experiment celé stěny, který byl proveden přímo v prostorách ČVUT.



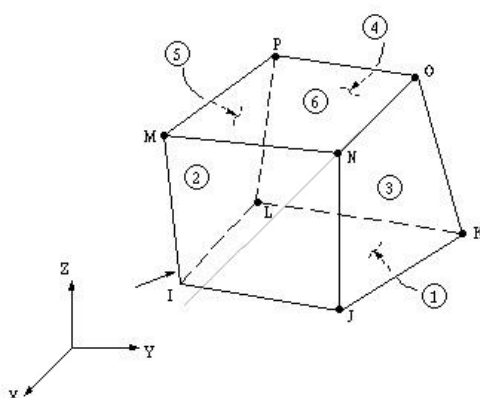
Obr. 85 Zjednodušené schéma modelu komponent v programu Ansys.

Na Obr. 85 je zjednodušený čelní pohled na komponent model, který je ve skutečnosti modelován ve 3 D. Model byl inspirován metodou komponent pro modelování ocelových styčníků.

### 5.1.1 Používané modelové prvky

#### **Solid 185**

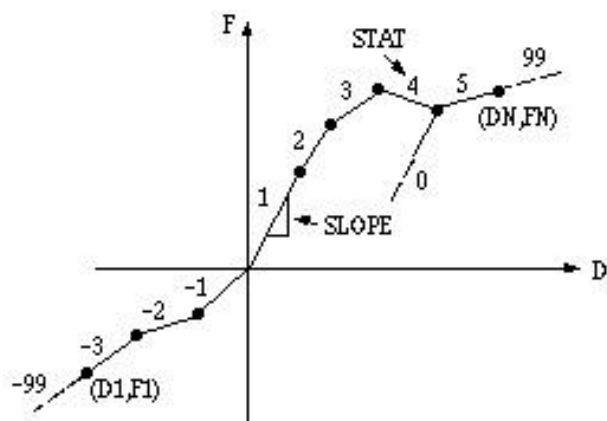
Dutá skleněná tvárnice byla modelována pomocí 3 D prvku Solid 185, který je vhodný pro modelování 3 D prvků se třemi stupni volnosti. Plastová distanční destička byla modelována také pomocí prvku Solid 185. Tento prvek je definován osmi uzly, které mají 3 stupně volnosti (posuny ve směrech osy x, y, z). Geometrie je znázorněna na obrázku.



Obr. 86 Geometrie prvku Solid 185

#### **Combin 39**

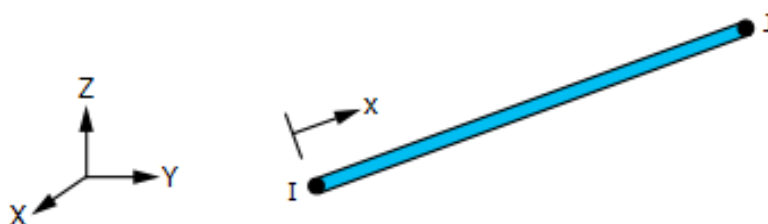
Prostorové plastové kříže byli modelováni pomocí nelineární pružiny Combin 39. Pro tento prvek je možné definovat více bodů na diagramu a tím určit jeho vlastnosti. Je definován dvěma uzly na přímce. Vstupní parametry pro pružinu byly vloženy z tahové zkoušky plastových rámečků a tlakové zkoušky distančních destiček.



Obr. 87 Vstupní parametry prvku Combin 39

### Link 180

Výztuž vložená do plastových rámečků byla modelována pomocí prvku Link 180. Jedná se o přímý prvek definován dvěma body.



Obr. 88 Geometrie prvku Link 180

## 5.1.2 Materiálové vlastnosti

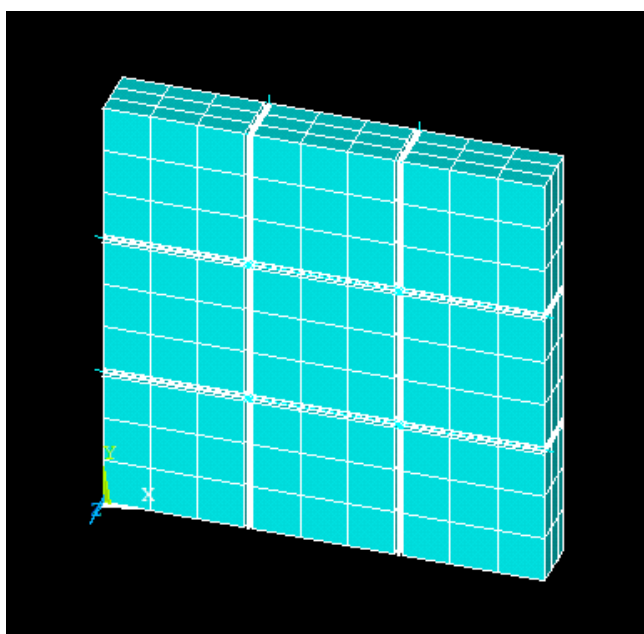
Výsledky měření ukázali, že materiálové vlastnosti lze zjednodušeně popsat pomocí modulu pružnosti  $E$  a Poissonovým číslem  $\nu$ , aniž by tím byla ovlivněna správnost výsledků. Materiálové vlastnosti plastových distančních destiček byli stanoveny experimentálně. Plastové kříže definované prvkem Combin 39 byly nastaveny pomocí tahové zkoušky. Hodnoty modulu pružnosti  $E$  a Poissonovo číslo  $\nu$  pro ocel a sklo byly převzaty z odborné literatury.

Tab. 4 Vlastnosti materiálů

Materiál	Modul pružnosti E [MPa]	Poissonovo číslo ν [-]
Sklo	70500	0,23
Ocel	210000	0,30
Plast	23000	0,35

### 5.1.3 Geometrie numerického komponent modelu

Numerický komponent model pro metodu konečných prvků se vždy skládá ze stejných částí, jak bylo uvedeno v předchozí kapitole. Numerických modelů bylo vytvořeno několik, vždy stejným postupem. Každý z modelů měl simulovat skutečnou stěnu a její rozměr. Model byl vymodelován postupně z částí skleněné luxfery a plastové distanční destičky. Prvky pak byli pospojovány pomocí prvku Combin 39, který simuloval prostorové kříže. Souřadný systém byl zvolen tak, že kladná osa X směřovala ve směru šířky stěny, kladná osa Y směřovala po výšce stěny.



Obr. 79 Geometrie numerického modelu pro rozměry 3x3

Geometrie numerického modelu stěny byla modelována v následujících krocích:

1. Dutá skleněná tvárnice.

V rovině XYZ byl vytvořen 3 D model zkušební tvárnice pomocí prvku VOLUME. Pro metodu konečných prvků byla vytvořena síť konečných prvků pomocí příkazu MESH. Tímto krokem byl vytvořen prostorový prvek SOLID 185.

2. Distanční plastová destička.

Stejně jako u skleněné tvárnice byla modelována distanční destička pomocí prvku VOLUME a pak vytvořena síť příkazem MESH a tím prvek SOLID 185.

3. Plastové prostorové kříže.

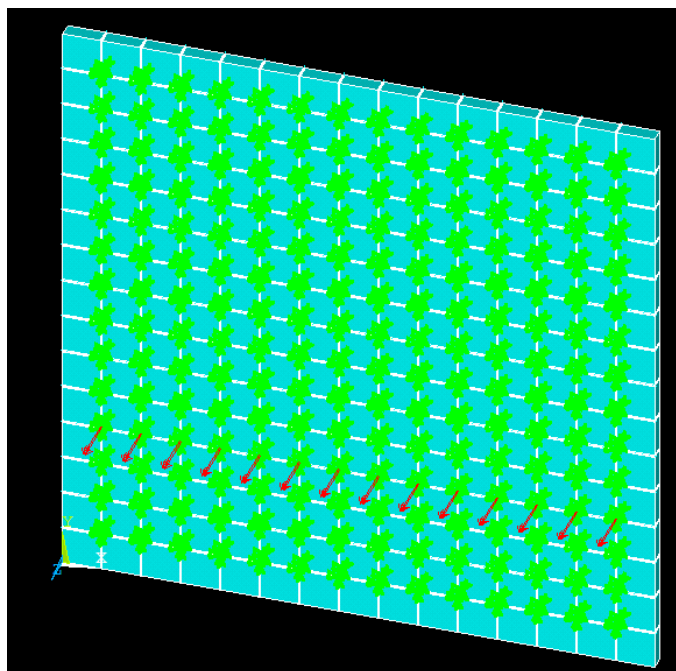
Mezi rohy dutých tvárnic a distančních destiček byli pomocí COMBIN39 nataženy nelineární pružinky. Tyto pružinky simulovaly chování plastových křížů zacvaknutých do distančních destiček.

4. Výztuž

Mezi distanční destičky byla natažena výztuž pomocí příkazu LINE 5. Výztuž byla modelována na jednu stranu svisle a na druhou vodorovně a na krajích byla opět uchycena pomocí nelineární pružiny COMBIN39.

#### 5.1.4 Zatížení

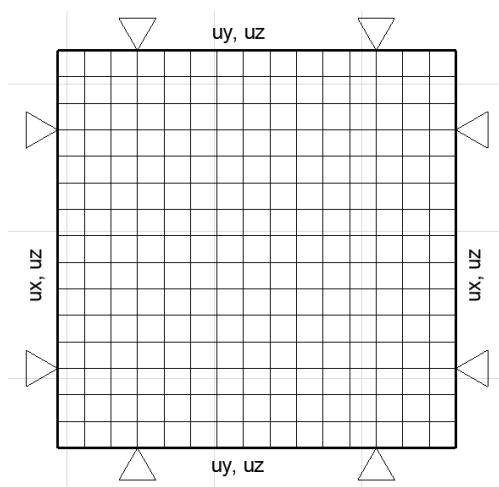
Zatížení bylo na numerický model aplikováno pomocí liniového zatížení umístěného přímo na síť konečných prvků, a to ve směru Z. Zatížení bylo aplikováno u prvků do výšky max. 1,2m, viz Obr. 89. U rozměru stěny 5x5 a 7x7 byla síla vnášena na střed stěny.



Obr. 89 Liniové zatížení aplikované na stěnu 15x15

### 5.1.5 Symetrie a podepření

Zkušební vzorek byl symetricky podepřený na krajích stěny. Numerický model komponent byl na svislých stranách po celé délce podepřený a bylo zabráněno posunům ( $u_x, u_z$ ). Na vodorovných stranách byl model podepřených po celé délce a bylo zabráněno posunům ( $u_y, u_z$ ). Rotaci se bránit nemuselo, protože prvky měly pouze tři stupně volnosti (posuny  $u_x, u_y, u_z$ )

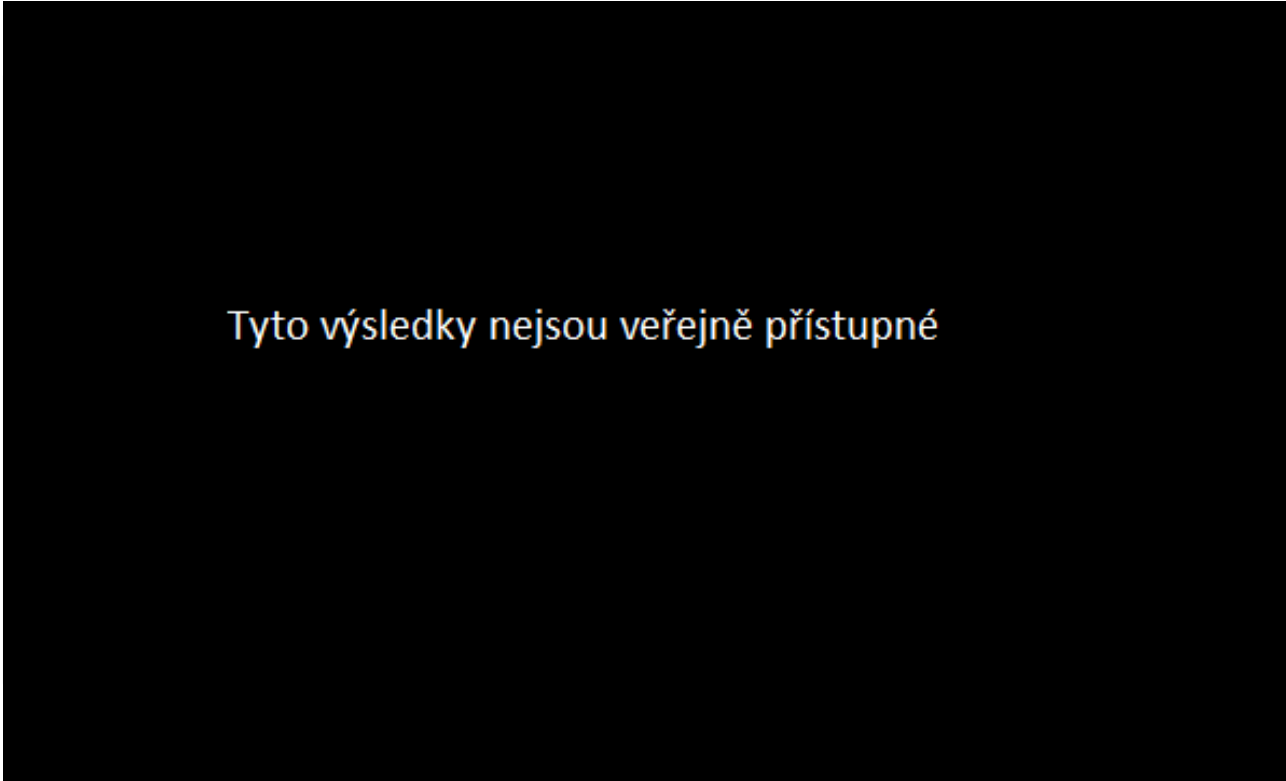


Obr. 90 Schéma podepření stěny



### 5.1.6 Verifikace modelu

Na základě provedených dílčích zkoušek byli nastaveny jednotlivé komponenty modelu. Pomocí zkoušky celé stěny byla ověřena správnost a funkčnost celého modelu v programu Ansys 18.2. Správně nastavený model měl potvrdit totožnost numerického



Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

## 6. Parametrická studie

V této kapitole jsou popsány komponentní numerické modely pro skleněnou stěnu z dutých tvárnic o různých rozměrech použité v parametrické studii, která umožnila určit mezní stav použitelnosti a sílu působící při dosažení mezního stavu použitelnosti. Numerické modely vycházely z již odzkoušeného modelu.

### 6.1 Vstupní parametry

Parametrická studie byla provedena pro stěny o různých rozměrech a velikostech, které budou dále popsány počtem skleněných dutých tvárnic např. 12x14. Velikost

stěny ovlivní její chování a vzniklé deformace. Vstupní parametry pro numerickou analýzu jsou uvedené v tabulce, viz Tab. 6.

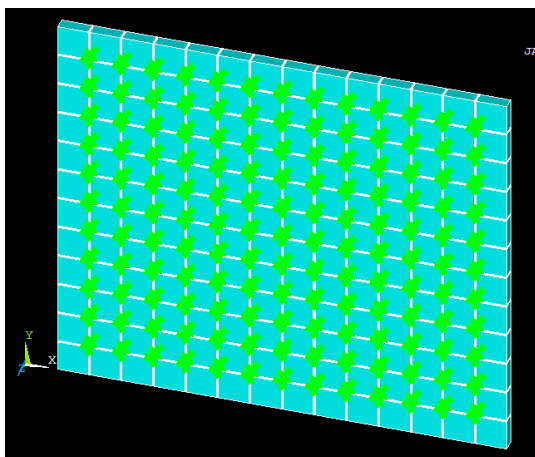
Pro numerický model bylo použito zatížení z normy pro vodorovné zatížení na zábradlí a dělicí stěny (ČSN EN 1991-1-1), viz Tab. 5 a porovnáme dle ČSN EN 13116 „Lehké obvodové pláště – Odolnost proti zatížení větrem – Funkční požadavky“ byla stanovena limitní hodnota vodorovné deformace  $L/200$ .

Tab. 5 Velikost zatížení pro kategorie budov

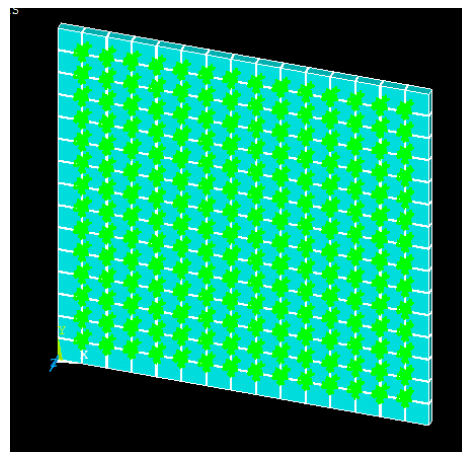
Zatěžované plochy	$q_k$ [kN/m]
Kategorie A	0,5
Kategorie B a C1	1
Kategorie C2.C4 a D	1
Kategorie CS	5
Kategorie E	min 2,0
Poznámka: v tabulce jsou uvedeny hodnoty podle Národní přílohy pro Českou Republiku	

Tab. 6 Velikosti stěn pro parametrickou studii

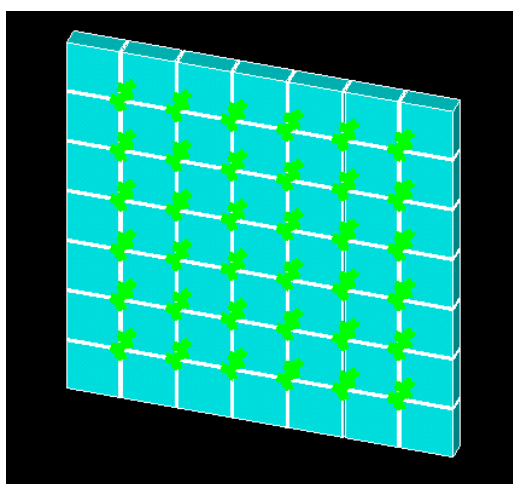
Počet luxfer [ks]	Rozměr stěny [mm]	Počet spojovacích prostředků	
		Distančních destičky	Prostorové kříže
5x5	1005x105	60	36
7x7	1407x1407	112	64
10x10	2010x2010	220	121
12x14	2420x2810	362	195
15x15	3015x3015	480	256
6x8	1206x1608	76	45



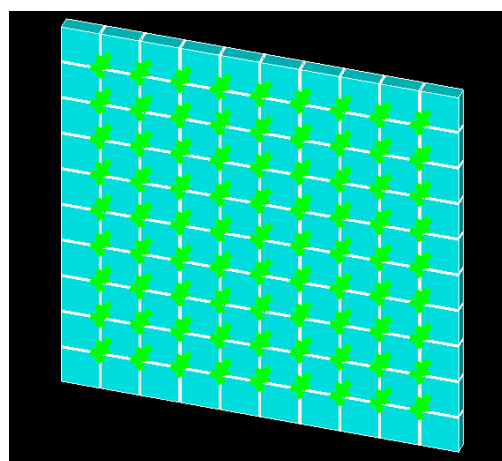
Obr. 92 Geometrie stěny 12x14



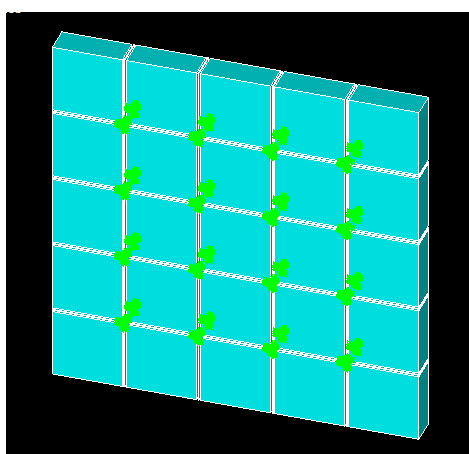
Obr. 93 Geometrie stěny 15x15



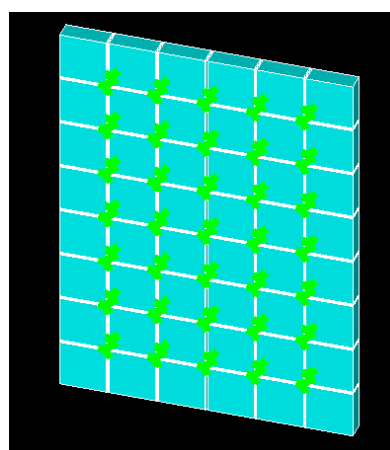
Obr. 94 Geometrie stěny 7x7



Obr. 95 Geometrie stěny 10x10



Obr. 96 Geometrie stěny 5x5



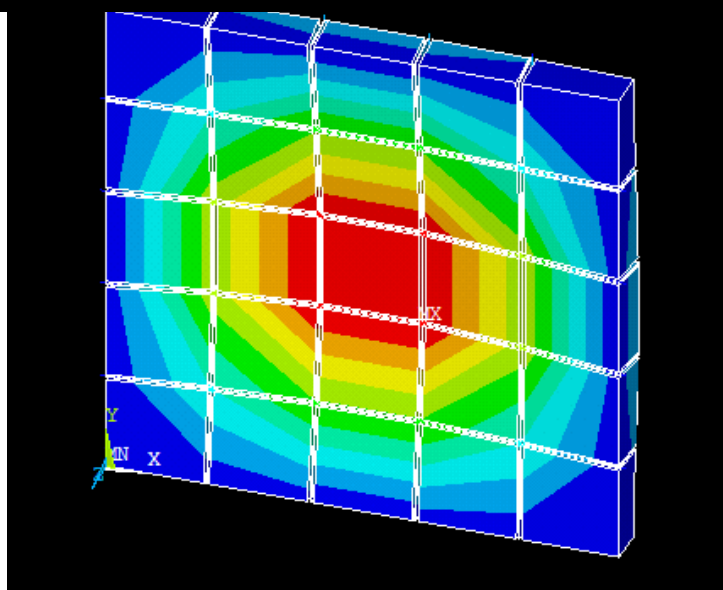
Obr. 97 Geometrie stěny 6x8

## 6.2 Zkušební vzorky

Pro parametrickou studii byl použit již verifikovaný model jen se změnou počtu dutých skleněných tvárnic. Parametrická studie různě velkých stěn měla za cíl stanovit a porovnat mezní stavy použitelnosti ve vyšetřovaných stěnách.

Nejdříve byla stěna zatížena liniovým zatížením o 0.5 kN/m určenou pro kategorii

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné



Obr. 98 Zdeformovaná stěna po zatížení

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

Tyto výsledky nejsou veřejně přístupné

5x5	9,83	1,06
6x8	7,8	0,83
7x7	6,97	0,78
10x10	4,35	0,66
12x14	3,58	0,31
15x15	2,73	0,28

### 6.3 Závěr

Velikost stěny ovlivňuje chování stěny jako celku. Na Obr. 100 jsou vykresleny deformace stěny pro jednotlivé rozměry. Maximální hodnota deformace při zatížení 1kN/m u největší vyšetřované stěny 15x15 byla 6,74 mm. Z hlediska použitelnosti je dle ČSN EN 13116 „Lehké obvodové pláště – Odolnost proti zatížení větrem – Funkční požadavky“ limitní hodnota vodorovné deformace  $L/200$ . Pro zatěžovanou stěnu tedy je  $\delta_{im} = 3015/200 = 15,075 \text{ mm}$ . Limitní deformace bylo dosaženo při celkovém zatížení  $F = 2,73 \text{ kN/m}$ , při zatížení, které je 273 procent předepsaného zatížení.

Z grafu deformací jednotlivých velikostí stěn vyplývá, že s rostoucí velikostí stěny vykazuje velké deformace.

## 7. Výsledky diplomové práce

V první části práce byly provedeny experimenty pro stanovení vlastností jednotlivých komponent stěny, tj. tlaková zkouška distanční destičky ve spáře, tahová zkouška plastových prostorových křížů a tahová zkouška výztuže v kotvení. Výsledkem experimentální práce jsou pracovní diagramy komponent, jmenovitě jejich počáteční tuhost, únosnost, deformační kapacita, a počáteční prokluz a způsob porušení. Tlaková zkouška ukázala, že k porušení distančních destiček ve stěně v reálné situaci nedojde. Při zatěžování se jako první porušila skleněná dutá tvárnice. Tahová zkouška plastových prostorových křížů ukázala slabé místo celé stěny. Docházelo k prasknutí plastových paciček. Výztuž v tahové zkoušce se nejdříve opřela o dřevěný trámek a poté se začala narovnávat v ohybu a tím docházelo k vytažení.

Numerický komponent model, který využívá pracovní diagramy z experimentů byl porovnán s experimentem celé stěny a ověřena jeho správnost. Byla dosažena shoda modelu s experimentem v počáteční tuhosti i v deformaci. Numerický model sloužil k podrobnějšímu pochopení a analýze chování stěny.

Vyvinutý komponentní numerický model byl použit k vypracování parametrické studie.

Cílem studie je zjistit chování stěny s různými rozměry. Byla sledována stěna 5x5 až 15x15 zatížena liniovým tlakem převzatým z normy, a získané výsledky ukazují, že deformace jsou menší než limitní. Dosahují hodnoty 20-50% povolené deformace.

Ukazuje se že systém Vitralock je vhodnou alternativou pro mokrý proces. Provedené studie ukazují, že vyhovuje z hlediska mezních průhybů.

## **8. Téma na další výzkum**

Tato práce ukazuje výsledky systému Vitralock s výztuží. Další možnou alternativou by bylo použití stěny pro menší rozměry bez výztuže.

Jak tato práce ukázala nejslabším místem této stěny jsou plastové pacičky prostorového kříže, který spojuje distanční destičky mezi skleněnými tvárnicemi a to je téma na další výzkum. Vylepšit místo změnou materiálu nebo změnou geometrie paciček.

Dalším námětem na výzkum by bylo posuzovat stěnu zatíženou ploště simulující zatížení větrem.

## 9. Zdroje literatury

- [1] ČSN 70 1602 Skleněné duté tvárnice: typy, rozměry a parametry = Hollow glass blocks. Types, dimensions and parameters.
- [2] ČSN EN 1051-1 Sklo ve stavebnictví: skleněné tvárnice a skleněné dlaždice. Část 1: Definice a popis = Glass in building - Glass blocks and glass pavers - Part 1: Definitions and description.
- [3] ČSN EN 1051-2 Sklo ve stavebnictví: skleněné tvárnice a skleněné dlaždice. Část 2: Hodnocení shody/Výrobová norma = Glass in building - Glass blocks and glass pavers - Part 2: Evaluation of conformity/Product standard.
- [4] <http://www.luxfery.cz/> (GLASS BLOCKS, s.r.o.)
- [5] <http://www.luxfery.net>
- [6] <http://www.sevesglassblock.com/home.html>
- [7] <http://bassamfellows.com/entry.html?id=76>
- [8] <http://www.adns.cz/cerna-ruze-rekonstrukce.html>
- [9] Fíla, J – Eliášová, M – Sokol, Z: Zatěžovací zkouška z dutých skleněných tvárnic, říjen 2016, fakulta stavební ČVUT
- [10] <http://www.ansys.com>
- [11] ČSN EN 1991-1-1 (ČSN 73 0035) Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. ČNI, 2004.
- [12] ELIÁŠOVÁ, M. *Nosné konstrukce ze skla*, seminář katedry ocelových a dřevěných konstrukcí, Praha, str. 27-34, 2005, ISBN 80-01-03279-5.
- [13] WURM, J. *Glass structures: design and construction of self-supporting skins*. Basel: Birkhäuser, 2007, ISBN 978-3-7643-7608-6.



- [14] LAUFS, W.; LUIBLE, A. *Introduction on Use of Glass in Modern Buildings*, EPFL-ICOM, Lausanne, 2003, ISBN 80-01-02849-6
- [15] HALDIMANN, M.; LUIBLE, A.; OVEREND, M. *Structural use of glass*. Zürich, Switzerland: International Association for Bridge and Structural Engineering, 2008, ISBN 978-3-85748-119-2.
- [16] Štulík A. *Sklo ve stavebnictví*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury; 1955.
- [17] FLORIÁN, M. *Inteligentní skleněné fasády*, 1. vydání, ČVUT Praha, 2005, ISBN 80-01-03195-0.
- [18] *Challenging glass 4 & COST action TU0905 final conference: proceedings of the challenging glass 4 & cost action TU0905 final conference*, école polytechnique fédérale de lausanne (EPFL), Lausanne, Switzerland, 6-7 February 2014. Boca Raton: CRC Press, ISBN 978-1-138-00164-0.
- [19] LORENZ, J. *Numerical analysis of glass pane: a blind point connection*, Praha, Česká Republika, 2016. České vysoké učení technické.
- [20] Le Bourhis E. *Glass: mechanics and technology*. Weinheim: Wiley; 2008.
- [21] Borec T, Gazdík F. *Sklo - novodobý technický materiál*. 1. vyd. ed. Bratislava: SVTL; 1966.
- [21] Scholze H. *Glas: Natur, Struktur, und Eigenschaften*. Braunschweig: Vieweg; 1965.