

# České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



## Diplomová práce

**Vypracovala:** Bc. Kateřina Kasalová  
Stavební inženýrství  
Konstrukce pozemních staveb

**Vedoucí práce:** Ing. Radek Štefan, Ph.D

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kasalová Jméno: Kateřina Osobní číslo: 468577  
Zadávací katedra: 133 Katedra betonových a zděných konstrukcí  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Koncept prefabrikované dělicí stěny s řízenými optickými a akustickými vlastnostmi  
Název diplomové práce anglicky: The concept of a precast dividing wall with controlled optical and acoustic properties

Pokyny pro vypracování:

Základní řešerše požadavků na mechanické a fyzikální požadavky dělicích konstrukcí  
Základní řešerše cementových kompozitů majících vhodné akustické a optické parametry  
Vypracování konceptu prefabrikované dělicí stěny se zaměřením na akustiku a optiku  
Návrh receptury a výroba vzorků v "semi-scale" měřítku  
Zkoušky materiálových vlastností, zkoušky zatěžování "semi scale" vzorků  
Výroba prototypu

Seznam doporučené literatury:

Normy:  
ČSN EN 1023-2 Kancelářský nábytek - Dělicí příčky - Část 2: Mechanické bezpečnostní požadavky  
ČSN EN 206+A1  
Collepari M., Moderní Beton 2009

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D., FEng.

Datum zadání diplomové práce: 19. 9. 2022 Termín odevzdání DP v IS KOS: 9. 1. 2023  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*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“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Mechanické a fyzikální požadavky pro dělicí konstrukce</b>	<b>11</b>
2.1	Zvukově izolační funkce . . . . .	11
2.2	Tepelně izolační funkce . . . . .	11
2.3	Mechanicky izolační funkce . . . . .	11
2.4	Stabilita . . . . .	12
2.5	Funkce ochrany při požáru . . . . .	12
2.5.1	Charakteristika celistvosti . . . . .	12
2.5.2	Charakteristika izolace . . . . .	12
2.5.3	Charakteristika radiace . . . . .	12
2.6	Mezistěny . . . . .	13
2.6.1	Kancelářské dělicí příčky . . . . .	13
2.6.2	Akustické clony . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Cementové kompozity mající vhodné optické vlastnosti</b>	<b>16</b>
3.1	Optická vlákna . . . . .	16
3.2	Výroba průsvitného betonu s optickými vlákny . . . . .	17
3.2.1	Metoda volného kladení . . . . .	17
3.2.2	Protahovací metoda . . . . .	17
3.2.3	Metoda výroby zabodáváním . . . . .	18
3.3	Polymery . . . . .	20
3.4	Skleněné prvky . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Cementové kompozity mající vhodné akustické vlastnosti</b>	<b>22</b>
4.1	Pórovité konstrukce . . . . .	22
4.2	Kongresové centrum Zlín . . . . .	23
4.3	Těžké konstrukce . . . . .	24
<b>5</b>	<b>Požadavky na zkoušky materiálových vlastností</b>	<b>25</b>
5.1	Zkouška ztvrdlého betonu - pevnost v tahu ohybem zkušebních těles . . . . .	25
5.2	Zkouška ztvrdlého betonu - pevnost v tlaku . . . . .	26
5.3	Zkušební metody malt pro zdivo - stanovení konzistence čerstvé malty . . . . .	27
<b>6</b>	<b>Koncepce prefabrikované kancelářské dělicí stěny</b>	<b>28</b>
<b>7</b>	<b>Výroba vzorku prefabrikované dělicí stěny v „semi-scale“ měřítku</b>	<b>32</b>
7.1	Ověření konceptu . . . . .	32
7.2	Výroba vzorků s rozebíratelnou formou . . . . .	35
<b>8</b>	<b>Návrh receptury cementového kompositu pro výrobu dělicí stěny</b>	<b>38</b>
8.1	Betonáž vzorků pokusu č. 3 . . . . .	39

8.2	Zkušební metody malt pro zdivo - stanovení konzistence čerstvé malty . . . . .	44
8.3	Zkouška ztvrdlého betonu . . . . .	46
8.3.1	Pevnost v tahu ohybem . . . . .	46
8.3.2	Pevnost v tlaku . . . . .	51
8.3.3	Vyhodnocení zkoušených betonových směsí . . . . .	56
<b>9</b>	<b>Výroba prototypu</b>	<b>57</b>
9.1	Výroba prototypu rámové konstrukce č. 1 . . . . .	57
9.2	Výroba prototypu rámové konstrukce č. 2 . . . . .	59
9.3	Výroba výplní do rámové konstrukce s optickými vlákny . . .	63
9.4	Výroba akustických výplní do rámové konstrukce . . . . .	67
9.5	Sestavení prototypu . . . . .	68
<b>10</b>	<b>Zkouška zatěžování „semi-scale“ prototypů</b>	<b>69</b>
<b>11</b>	<b>Vyhodnocení</b>	<b>72</b>
<b>12</b>	<b>Závěr</b>	<b>74</b>
	<b>Seznam literatury</b>	<b>75</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>79</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>82</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>83</b>
	<b>Seznam použitých výpočetních programů</b>	<b>83</b>

## Seznam použitých zkratk a symbolů

ASE	Alkalicko-křemičitá reakce
CSM	Doplňkové cementové materiály
GOF	Skleněné optické vlákno
POF	Plastové optické vlákno
XPS	Extrudovaný polystyren

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne:

Kateřina Kasalová

.....

.....

## **Abstrakt:**

Diplomová práce se zabývá koncepcí prefabrikované dělicí stěny s řízenými optickými a akustickými vlastnostmi. Cílem práce bylo vytvořit základní rešerši na požadované vlastnosti dělicích konstrukcí. Dále byla vypracována rešerše cementových kompozitů majících vhodné optické a akustické vlastnosti. Hlavním cílem pak bylo vytvořit koncepci prefabrikované dělicí stěny a vytvořit funkční prototyp. Dělicí stěna, konkrétně kancelářská dělicí stěna, byla zhotovena s oddělenou nosnou konstrukcí a konstrukcí výplně. Nosná hexagonální konstrukce byla zhotovena z betonu s obsahem čediče a siliky. Výplně byly provedeny z průsvitného betonu s optickými vlákny a z mezerovitého betonu. Výsledkem práce bylo vytvoření funkčního prototypu kancelářské dělicí stěny s možností řízení akustických a optických vlastností.

## **Klíčová slova:**

Průsvitný beton, architektonické betony, optická vlákna, kancelářské dělicí stěny, pevnost v tlaku, pevnost v tahu ohybem, mezerovitý beton

## **Abstract:**

The diploma thesis deals with the concept of a prefabricated dividing wall with controlled optical and acoustic properties. The aim of the work was carrying out a basic research on the required properties of dividing structures. Furthermore, a search for cement composites with suitable optical and acoustic properties was made. The main goal was a creation of a concept of a prefabricated dividing wall as well as a functional prototype, itself. The partition wall, specifically the office partition wall, was created with a separate supporting structure and an infill structure. The supporting hexagonal structure consisted of concrete containing basalt and silica. The fillings were made of either translucent concrete with optical fibers or lightweight concrete. The result of the work was a creation of a functional prototype of an office partition wall with the possibility of controlling acoustic and optical properties.

## **Keywords:**

Ligh-transmitting concrete, architectural concrete, fibre optics, office dividing walls, compressive strength, flexural strength, lightweight concrete

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce Ing. Radkovi Štefanovi, Ph.D, panu Ing. Romanovi Chylíkovi a Ing. Tomášovi Trtíkovi za pomoc, ochotu a trpělivost při průběhu zpracování této práce.

Děkuji také svým přátelům a rodině za podporu po celou dobu mého studia a za to, že při mně stáli i v těžkých chvílích.



# 1 Úvod

Betonové konstrukce jsou v dnešní době značně oblíbené. Používají se jak na konstrukce nosné, tak i nenosné. Beton již není jen šedivý kus syntetického kamene, ale stává se z něj materiál, který pomocí možného probarvení, úprav jeho povrchu, či nahrazení některých přísad za jiné vytváří skoro neomezenou škálu možností, jak tento materiál využít.

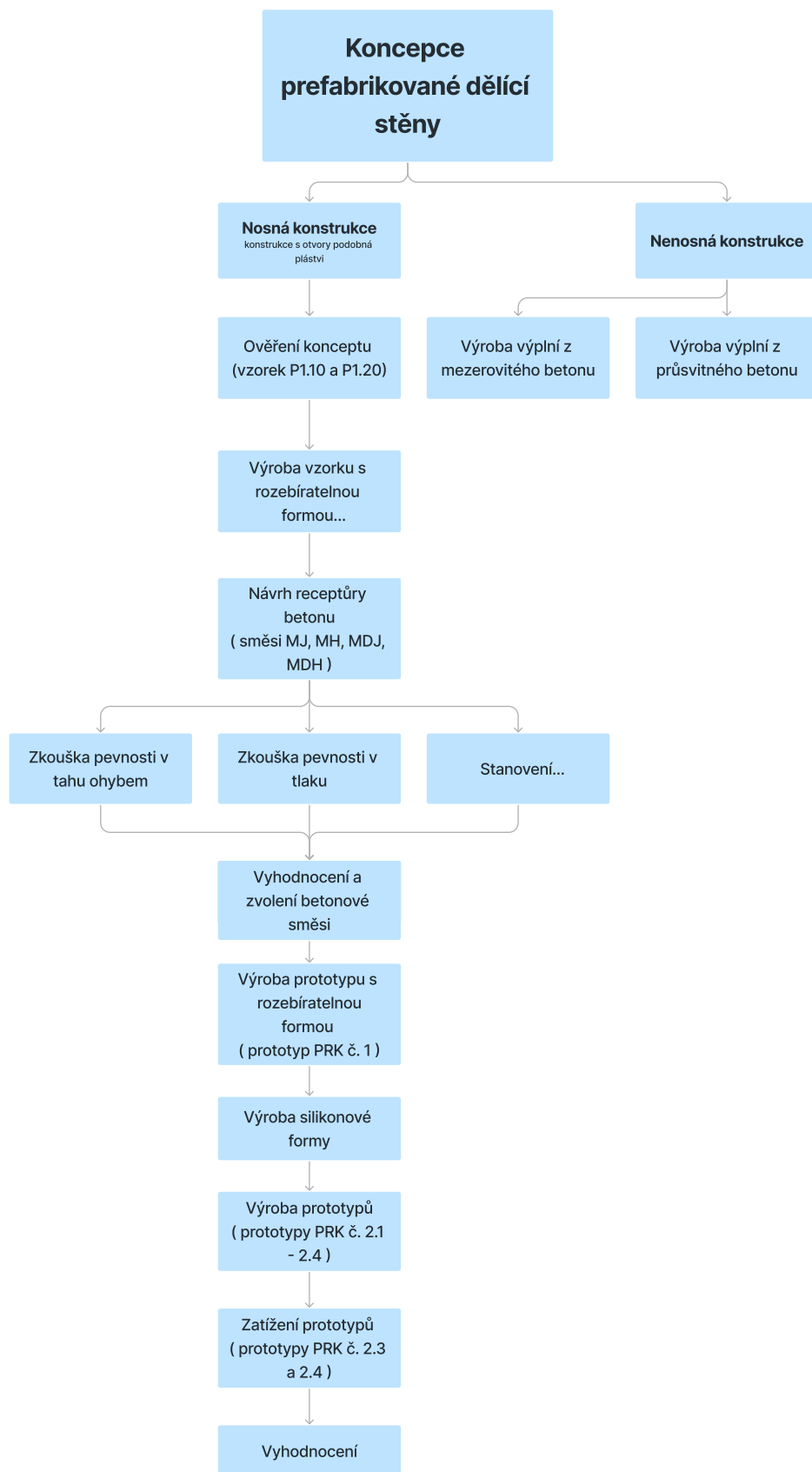
Vzhledem k tomu, že tvarová variabilita betonu je závislá pouze na možnostech formy, do které je beton uložen, je možné vytvářet úchvatné designové prvky, které primárně nejsou ani stavebního rázu. Například to mohou být závěsné betonové lampy od designéra Adama Molnára (viz obr. č. 1). Právě tvarová variabilita betonu zavedla nápadu na tuto práci. Cílem práce je nalézt způsob jak zkombinovat variabilitu a funkčnost v jednom stavebním prvku. Jako zkoumaný prvek byla zvolena kancelářská dělicí stěna.



Obrázek 1: Závěsná betonová lampa, [16]

U většiny sedavých zaměstnání je kancelář takovým druhým domovem. Proto, abychom dokázali efektivně pracovat, je nutné, aby v blízkém prostoru okolo nás byla relativní pohoda prostředí. Taktéž je důležité pečlivou prací s prostorem vytvořit pro zaměstnance pocit soukromí. Tyto požadavky se snaží svým způsobem vyřešit právě kancelářská dělicí stěna.

Práce je proto zaměřena na vytvoření kancelářské dělicí stěny s možností dělení prostoru bez velkého omezení přísunu přirozeného světla k pracovnímu prostoru a s možností vytvořit akustickou clonu. Dělí se na teoretickou část, která je věnována rešerši vlastností nenosných dělicích konstrukcí, a praktickou část, která je zaměřena na vytvoření koncepce dělicí příčky s vyměnitelnými prvky pro možnost personalizace pracovního prostředí. Pro zlepšení orientace v textu byl přidán vývojový diagram.



# Teoretická část

## 2 Mechanické a fyzikální požadavky pro dělicí konstrukce

Konstrukce staveb lze dělit dle mnoha kritérií. Co se týče polohy, stavební konstrukce mohou být buď svislé nebo vodorovné. Svislé stavební konstrukce lze podrobněji dělit dle nosné funkce na nosné a nenosné. Tato práce se zabývá právě nenosnými svislými stavebními konstrukcemi.

Svislé nenosné stavební konstrukce neboli tzv. příčky jsou stavební konstrukce oddělující jednotlivé dispozice uvnitř budovy. Jak již název napovídá, přenášejí pouze zatížení od vlastní tíhy a zatížení od zavěšených předmětů na jejich povrchu, tudíž se nepodílí na přenosu zatížení do základové spáry.

Jednotlivé příčky, kromě svých hlavních funkcí, mohou mít další funkce specificky vybrané pro plnění účelu v dedikovaném prostoru. Těmito funkcemi jsou kupříkladu optické, akustické, tepelně izolační a mechanické rozdělení prostoru a další. Dále mohou mít příčky i protipožární vlastnosti. Při zajištění požadované kombinace dělicích konstrukcí s odborně vybranými vlastnostmi lze dosáhnout vnitřní pohody prostředí pro uživatele. [12, 13]

### 2.1 Zvukově izolační funkce

Důležitou funkcí dělicích konstrukcí je jejich akustická neprůzvučnost. Vytvářejí akusticky neprůzvučnou bariéru skrze kterou zvuková vlna neprojde. Zvukové vibrace se do konstrukce mohou dostat jak pomocí přenosu vzduchem, tak mohou být vneseny i při operaci s nimi, např. chůzí. U příček se však bavíme výhradně o přímé vzduchové neprůzvučnosti. Tato vlastnost konstrukce určuje, do jaké míry konstrukce pohltí či odrazí zvukové vlny. [8]

### 2.2 Tepelně izolační funkce

Z termodynamiky plyne, že teplo má vlastnost šíření se z prostoru s větší energií do prostoru s menší energií. Proto, aby unik tepelné energie nebyl lineární, se místa přechodu ohraničují dělicími konstrukcemi s tepelně izolačními vlastnostmi. [7]

### 2.3 Mechanicky izolační funkce

Při užívání vnitřních prostor se uživatelé dostávají do kontaktu s dělicími konstrukcemi, což platí i pro nenosné dělicí konstrukce. Zatížení od provozního mechanického namáhání je tlakového (od vodorovných sil) či rázového charakteru, tudíž je nutné, aby použité materiály pro výrobu příček byly vůči nim odolné. Jedná se zpravidla o nárazy od lidí, zařízení či nábytku. Příčky musí těmto zatížením do určité míry vzdorovat bez porušení tak, aby nevznikaly nadměrné průhyby zapříčiňující jejich labilitu. Dále může také příčka či mezistěna působit jako fyzická překážka před pohybuujícími se předměty. [12]

## 2.4 Stabilita

Důležitou vlastností je samotná stabilita dělicí konstrukce. V případě příček je nutné zajistit ukotvení k nosným konstrukcím tak, aby při běžném užívání prostoru nedošlo ke ztrátě její stability. Vzhledem k různorodosti materiálového provedení příček existuje několik způsobů jak je ukotvit. V případě zděných příček jde o spojky ve tvaru písmene L, které jsou ukotveny k nosné konstrukci po výšce před zhotovením samotné příčky, a jsou následně vloženy do malty ložné spáry samotné příčky.

## 2.5 Funkce ochrany při požáru

Nedílnou součástí dělicích konstrukcí je mnohdy jejich funkce zabránění šíření požáru. V případě zahrnutí nenosné příčky do požární únikové trasy je nutné, aby dokázala odolat účinkům požáru bez narušení požadované funkce po určitou dobu stanovenou v minutách. Konstrukce s požární odolností mají specificky určené charakteristiky. Pro požární příčky to jsou především charakteristiky celistvosti s označením „E”, izolace s označením „I” a radiace s označením „W”. V rámci požární odolnosti existují i další charakteristiky, např. kouřotěsnost či mechanická odolnost, avšak výše zmíněné charakteristiky jsou těmi nejdůležitějšími pro nenosné dělicí konstrukce. [9]

### 2.5.1 Charakteristika celistvosti

Celistvost je schopnost požárně dělicích konstrukcí odolávat působení požáru pouze z jedné strany bez jeho přenosu na nezatěžovanou stranu důsledkem průniku plamenů či horkých plynů. Mezní stav porušení nastává při vzniku trhlin v dělicí konstrukci, jimiž požár dokáže proniknout do chráněného prostoru. [9]

### 2.5.2 Charakteristika izolace

Izolační charakteristika je schopnost dělicí konstrukce odolávat působení požáru na jednom povrchu bez přenosu požáru na neohřívanou stranu. Příčka musí odolávat natolik, aby se nevznítla i neohřívaná strana, či vznětlivý materiál v její blízkosti. Dále musí dělicí konstrukce vytvářet tepelnou bariéru bránící osoby v její blízkosti na nezatěžované straně. [9]

### 2.5.3 Charakteristika radiace

Charakteristika radiace je schopnost konstrukce odolávat účinkům požáru, přesněji účinkům sálavého tepla tak, aby prostup sálavého tepla ze zatěžované strany byl minimalizován a nezapříčinil vznícení hořlavých materiálů v její blízkosti na nezatěžované straně. Pokud mají prvky označení „I”, pak se také považují jako vyhovující požadavkům radiace po stejnou dobu odolnosti. [9]

## 2.6 Mezistěny

Dle publikace *Příčky v pozemních stavbách* je možné rozdělit prostor i pomocí tzv. mezistěn, což jsou konstrukce přinášející soukromí ve veřejném prostoru. Jsou jimi např. převlékací kabiny či kancelářské dělicí stěny oddělující jednotlivé pracovní plochy. Pojmy jako sanitární příčky, akustické clony, či kancelářské dělicí příčky jsou podmožinami pojmu mezistěna. Tento pojem se v normách vyskytuje jen zřídka, což je ovlivněno i tím, že pro každou z výše zmíněnou podmožinu existuje vlastní výrobová norma. [12]

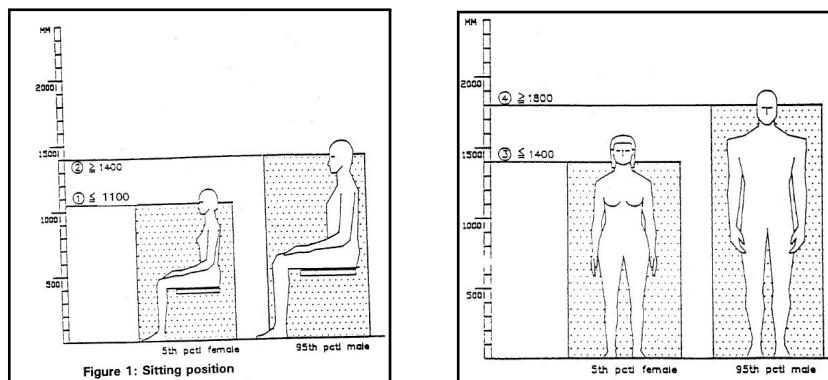
Pozornost v této práci byla zaměřena převážně na akustické clony a kancelářské dělicí příčky. Další podtémata v mezistěnách jsou taktéž důležitá, avšak jsou nevhodná pro zaměření této práce.

### 2.6.1 Kancelářské dělicí příčky

Kancelářské dělicí příčky jsou značně využívány na oddělování jednotlivých pracovních ploch pro vznik soukromí v otevřeném prostoru kanceláří. Dělí se dle možného očního kontaktu a dle zaujaté pozice na :

- možnost očního kontaktu v sedě (viz obr. 2.1) - výška do 1100 mm
- nemožnost očního kontaktu v sedě (viz obr. 2.2) - výška nad 1400 mm
- možnost očního kontaktu ve stoje (viz obr. 2.3) - výška do 1400 mm
- nemožnost očního kontaktu ve stoje (viz obr. 2.4) - výška nad 1800 mm

Pro ilustraci jsou výškové kategorie zobrazeny na obr. č. 2. Tyto rozměry byly stanoveny na základě pěti a devadesátipěti percentil antropomorfních dat evropské populace. Dle normy *ČSN EN 1023-1*, šíře kancelářské dělicí příčky by měla odpovídat šíři pracovního prostoru a hloubce pracovní plochy a nábytku pro možnost jejich kombinace. Tloušťka kancelářské dělicí stěny není standardizována, avšak konstrukce jako celek musí vyhovět mechanickým bezpečnostním požadavkům a měly by obstát při zkouškách určených dle normy *ČSN EN 1023-3*. [4]



(a) v sedě

(b) ve stoje

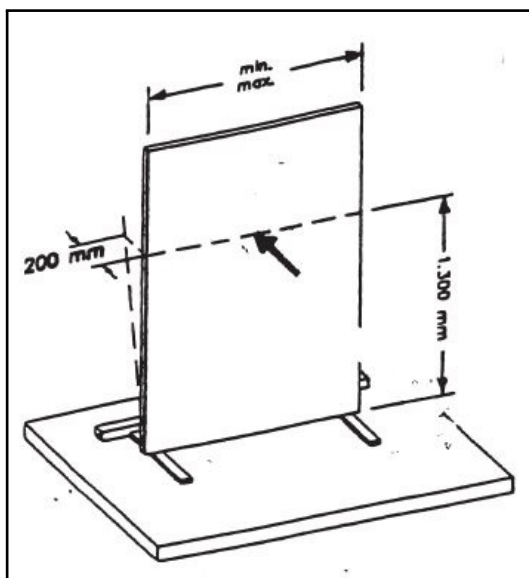
Obrázek 2: Dělení kancelářské stěny dle možnosti očního kontaktu, [4]

Bezpečnostní požadavky na kancelářské dělicí příčky jsou takové, aby již při jejich designu byla věnována pozornost bezpečnosti a byla minimalizována rizika zranění uživatele při běžném užívání i poškození majetku. Tyto požadavky jsou dosaženy, pokud všechny hrany, se kterými uživatel přijde do kontaktu, jsou zaobleny na minimální rádius 2 mm. Taktéž rohy je nutné zaoblit na rádius 2 mm. Všechny ostatní hrany musí být hladké a zahlazené. Všechny konce dutých částí musí být opatřeny koncovkou či zcela zaslepeny. Pohyblivé části musí být navrženy tak, aby nedocházelo ke zranění a aby bylo zabráněno nefunkčnímu použití. Dle normy *ČSN EN 1023-2* musí výrobce určit v manuálu jak příčku používat a jaké jsou možnosti doplňkových elementů. Dále má výrobce povinnost určit maximální možné zatížení, kterému je možné příčku vystavit.

Před uvedením příček na trh by měl výrobek projít testováním dle normy *ČSN EN 1023-3*. Před samotným testováním je nutné zajistit, aby testované prvky měly zaručené dosažení deklarované pevnosti. Požadavkem je, aby příčky po testování zůstaly celistvé a stále prováděly svou funkci.

Testování probíhá ve stálém prostředí. Před započítím testování se příčka osadí doplňkovými elementy. Příčky jsou pak testovány v jejich nejnejpříznivějších pozicích. Zatěžování by mělo probíhat pomalu tak, aby mohl být zanedbatelný vliv dynamických sil.

Zatěžování nenosných příček probíhá vodorovnou silou ve výšce 1,3 metru nad spodní hranou příčky 100 mm od horní hrany příčky, pokud je příčka nižší než 1,2 metru (viz obr. č. 3). Pro validitu testu je nutné, aby příčka odolala zatížení 200 N, anebo i mohla být vychýlena o 200 mm bez ztráty stability. [6]



Obrázek 3: Zatěžovací schéma pro zatěžovací zkoušku horizontální silou, [6]

### 2.6.2 Akustické clony

Vnitřní veřejný prostor je mnohdy plný zdrojů zvuku, které způsobují zvýšenou hladinu hluku. Není tomu jinak ani u otevřených kancelářských prostor. Proto

je akustická pohoda prostředí velmi důležitou komponentou při vytváření vnitřního otevřeného prostoru. Pro zmírnění akustického tlaku na uživatele se do prostoru umisťují akustické clony, jejichž úkolem je odstínit prostor od hluku. Každá akustická clona by měla pohlcovat zvukové vlny svým povrchem, znemožňovat její přímé šíření a částečně oddělit prostory zvukově od sebe na obou jejich stranách. Obvykle akustické clony utlumují zvuk do 10 dB, díky čemuž se ve většině případech nemusí řešit neprůzvučnost prvků clony, kde je toto kritérium splněno díky dodržení konstrukčních požadavků. V případě potřeby vložného útlumu většího než 10 dB je nutné pro dosažení požadovaného útlumu optimalizovat utěsnění styků clony s okolními konstrukcemi. [10]

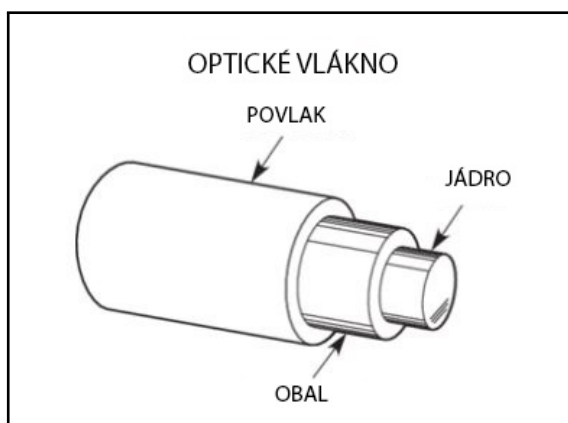
Dle normy *ČSN EN 17624* pro ochranu individuálních pracovních míst je nutné, aby akustické clony tvořily kabinu s otevřeným stropem či kryt tak, aby bylo potlačeno větrání a aby bylo zaručeno optické stínění a zvuková pohltivost až do výšky znemožnění očního kontaktu v sedě. Nad tuto výšku je nutné zajistit jen zvukovou pohltivost. Je také nutné splnit bezpečnostní požadavky dle *ČSN EN 1023*. V neposlední řadě je rovněž nutné zajistit začlenění kabeláže a pomůcek pro silnoproud či IT zařízení.

### 3 Cementové kompozity mající vhodné optické vlastnosti

Hledanými optickými vlastnostmi pro koncepci příčky je hlavně průsvitnost. Průsvitnost je vlastnost materiálu přenést paprsek světla ze světelně ozařovaného povrchu prvku na neozařovaný povrch. Samotné cementové kompozity jsou ve své podstatě nevhodným materiálem pro vytvoření stěny s vlastností průsvitnosti. Proto je nutné do základního cementového kompozitu skládajícího se z cementu, vody, plniva, přísad a příměsí přidat prvky, které zajistí průchod světelného paprsku. Aby prvky vodící světelný paprsek dokázaly zajistit průchod světla z jedné strany na druhou, je též nutné zajistit, aby takovýto prvek procházel celým jeho řezem a nedošlo k celkovému obetonování prvku. K tomuto účelu jsou do matrice přidána usměrněná optická vlákna. Prvky, které cementovému kompozitu dodají průsvitnou, ale i průhlednou funkci, jsou usměrněné prvky polymerů. Dalšími možnými prvky dodávajícími průsvitnost a průhlednost jsou skleněné prvky. Výše zmíněný typ cementového kompozitu se obecně nazývá průsvitný beton. [15]

#### 3.1 Optická vlákna

Optická vlákna jsou skleněná (zkr. GOF) či plastová vlákna (zkr. POF) o průměru od 0,05 mm do 20 mm, která díky své skladbě dokáží zajistit průchod světla za pomoci jeho odrazu v jádře z čela vlákna na konec (viz obr. č. 4). GOF jsou schopná vést světlo infračervené a viditelné, avšak POF vedou pouze světlo viditelné. Světelný tok vláknem prochází kolmo na jeho profil. Pro zajištění průchodu fotonů vláknem bez snížení energie paprsku je nutné, aby světlo dopadalo na čelo vlákna pod určitým úhlem, kde při nedodržení může dojít ke zmenšení světelné energie po délce vlákna, či fotony vláknem zcela neprojdou. Problémem ztráty světelné energie se zabývá převážně obor IT, kde se ztráta projevuje v řádu kilometrů. Udává se, že světlo je schopno optickými vlákny projít až do vzdálenosti 20 metrů bez ztráty energie. Z této premisy vyplývá, že stavební konstrukce z průsvitného betonu s tloušťkami v řádu desítek centimetrů jsou schopné přenést světlo na rubovou stranu. [19]



Obrázek 4: Skladba optického vlákna, [20]

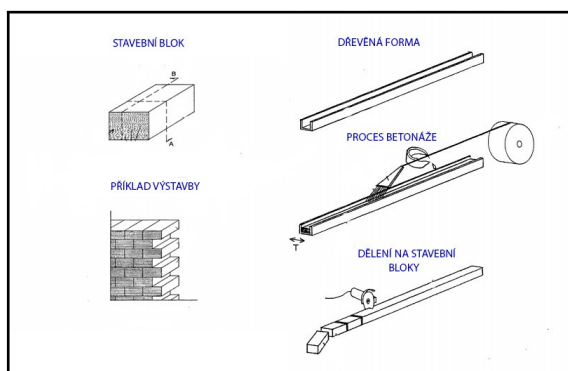


## 3.2 Výroba průsvitného betonu s optickými vlákny

Ve světě se pro výrobu průsvitného betonu používají vlákna POF pro jejich nižší cenu, vyšší odolnost a dostupnost. Při výrobě průsvitného betonu je nutné, aby přidané průsvitné prvky byly usměrněné a procházely z lícové plochy na plochu rubovou. Výjimkou tomu není ani v případě vložení optických vláken do cementového kompozitu. Tato podmínka tak ztěžuje vyrobitelnost betonu s optickými vlákny IN-SITU a je nutné tedy tyto prvky vyrábět jako prefabrikované. Existuje již řada výrobních postupů pro zabudování optických vláken do cementového kompozitu, avšak všechny se dají kategorizovat do celkem 3 kategorií. Těmi jsou metoda volného kladení POV do betonové směsi, metoda protahovací a metoda zabadávací.

### 3.2.1 Metoda volného kladení

Metoda volného kladení POV je patentovaná metoda Árona Losonczyho. Při výrobě se vrstva čerstvého betonu či cementu uloží do podlouhlé formy, do níž se uloží řada nejméně dvaceti optických vláken. Vlákna se následně zavibrují do požadované hloubky. Proces ukládání vrstev betonu a optických vláken se opakuje do naplnění celé formy. Po ztuhnutí betonu se celý prvek odbední a kolmo k optickým vláknům se rozdělí na bloky o výrobním rozměru 250 x 120 x 68 mm (viz obr. č. 5). Dle výrobního procesu je ideální obsah optických vláken 4-5 % objemu prvku. Patentovaný výrobní postup též uvádí alternativní postup výroby, kde se forma nejdříve vyplní čerstvým betonem a následně se do něj ukládají POV v jednotlivých vrstvách. [21, 22]



Obrázek 5: Postup výroby bloků *LiTraConu*, [21]

Velkou výhodou metody volného kladení je možnost strojní výroby. Další výhodou je také možnost obvyklé formy pro výrobu betonových prvků bez nutnosti úprav, což zjednodušuje vyrobitelnost prvků z průsvitného betonu. Na druhou stranu nevýhoda této metody je nemožnost vyrobit prvky s konkrétními vzory a průsvitnost prvku není jednotná skrze výrobní šarži.

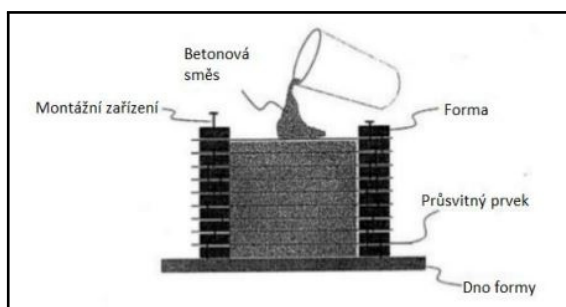
### 3.2.2 Protahovací metoda

V odborných člancích se nejčastěji používá protahovací metoda, která je značně časově náročná a pracná, avšak při jejím použití výsledné prvky jsou

velmi precizní a nejlépe odpovídají navrženému designu. Pro tuto metodu je nutné mít speciálně upravenou formu, která je opatřena otvory velikosti přibližně odpovídající průměru použitého optického vlákna ve dvou protilehlých stranách formy. Otvory se do formy zabudují POV tak, aby jejich konce vždy přečnívaly z formy (viz obr. č. 7). Betonová směs je následně vylita do připravené formy, jejíž hutnění probíhá samovolně pomocí samozhutnitelné směsi, či za pomoci vibračního zařízení. Po ztvrdnutí betonu se přečnívající vlákna odstraní a dojde k odbednění prvku. [23, 24, 25, 26, 27]



Obrázek 6: Ukázka možného výpletu dřevěné formy, [15]



Obrázek 7: Postup výroby průsvitného betonu pomocí protahovací metody, [23]

Preciznost této metody je vysoká, avšak má značné nevýhody. Kvůli výrobní pracnosti a časové náročnosti je tato metoda značně neefektivní. Průsvitnost celého prvku je závislá na hustotě zabetonovaných optických vláken a vzhledem k možnostem rozmístění otvorů v řádu milimetrů nelze zajistit propustnost světla ve velké míře. [25]

### 3.2.3 Metoda výroby zabodáváním

Poslední běžně používanou metodou je metoda zabodáváním. Principem této metody je upevnit optická vlákna do upravené stěny formy zabodnutím. Obvykle se používá zdvojené dno formy, kde se na dno formy upevní deska z extrudovaného polystyrenu. Optická vlákna je nutné zabodnout do XPS desky dostatečně hluboko, aby se při betonáži nezohýbala, či nevyplavala.

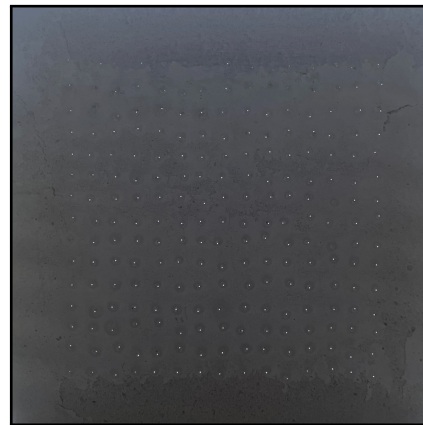
Některé odborné články doporučují navíc použití lepicí hmot pro plné zajištění upevnění optických vláken ve formě. Při odbednění prvků zabodávací metody je nutné upravit povrch líce odstraněním přebytečných vláken a XPS desky zbrúšením. Alternativně lze použít cementovou pastu o vysoké hustotě do níž se optická vlákna zabodávají. [28]

U všech výše zmíněných metod je zapotřebí upravit maximální velikost zrn kameniva dle maximálního rozestupu vláken. Tudíž při snaze o maximální průsvitnost a při uložení optických vláken od sebe v řádech jednotek milimetrů je vhodné použít tzv. mikrobeton. Mikrobeton se v běžné praxi využívá jako finální úprava podlah a stěn a obsahuje jemný cement, jemné kamenivo, minerální látky a polymerní přísady.

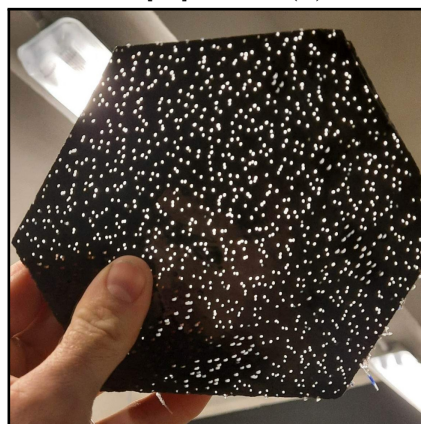
Porovnání výsledků jednotlivých metod lze vidět na obrázku č. 8. Je zřetelné že, metoda volného ukládání má nejvyšší procento průsvitnosti (viz obr. č. 8a). Z obrázku č. 8b je zřetelně vidět omezení, které přináší metoda provlékáním, kde rozmístěním otvorů je předem stanoveno procento průsvitnosti, kterého lze dosáhnout. Prvky provedené dle metody zabodávání lze umístit jako pomyslnou střední cestu při výrobě průsvitného betonu při srovnání metod dle množství průsvitnosti a pracnosti výroby (viz obr. č. 8c).



(a) Metoda volného ukládání, [29]



(b) Metoda provlékání, [15]

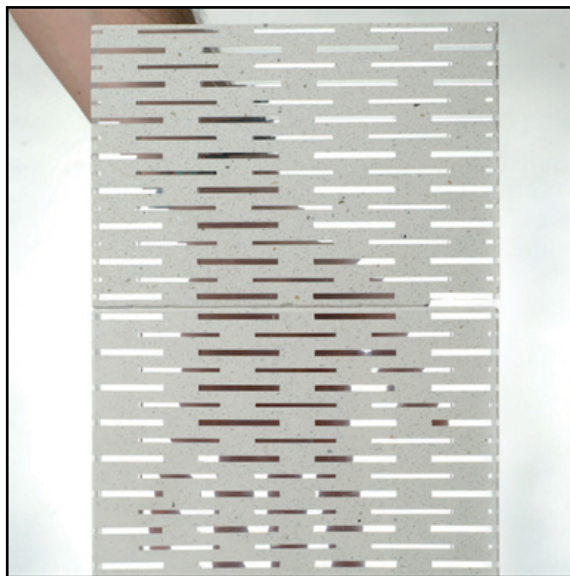


(c) Metoda zabodávání

Obrázek 8: Porovnání prvků průsvitného betonu s optickými vlákny dle jednotlivých metod

### 3.3 Polymery

Dalším materiálem, který se v praxi používá pro výrobu průsvitného betonu, jsou obecně polymery. Specificky pak polymerní pryskyřice, plasty a plexiskla. Běžně se do betonu zabudovávají jako celé prvky či obrazce ve tvaru tyčinek, krychlí apod, kde jejich velikost má za následek přidanou průhlednost celé betonové konstrukce (viz obr. č. 9). Při výrobě průsvitného betonu s polymery se jednotlivé polymerní prvky osadí do formy, která je následně vylita čerstvým samozhutitelným betonem. [30, 32]



Obrázek 9: Průsvitný beton s prvky z polymeru, [31]

### 3.4 Skleněné prvky

Skleněné prvky ve tvaru tyčinek, vláken, či tabulí (viz obr. č. 10) se pro výrobu průsvitného betonu v praxi využívají méně než výše zmíněné materiály. Skleněná vlákna se sice využívají pro výrobu vláknobetonu, kde vlákna nejsou usměrněná a jsou o velikosti přibližně  $13 \mu\text{m}$ , avšak pro výrobu průsvitného betonu je nutná jejich usměrněnost a jejich velikost v minimálně řádu milimetrů. Postup výroby je v zásadě stejný jako u polymerů. [33, 34]

Použití odpadního skla namísto obvyklého kameniva v betonové směsi je možné, avšak při obvyklé tloušťce betonových nenosných prvků je nemožné dosáhnout průsvitnosti. Děje se tak z důvodu nutnosti obalit zrna skla cementovou směsí. [15]



Obrázek 10: Průsvitný beton se skleněnými panely, [35]

## 4 Cementové kompozity mající vhodné akustické vlastnosti

Pohoda prostředí pro člověka je v interiéru velmi důležitá, což také zahrnuje akustiku. Proto je akustika velmi řešeným tématem ve stavební praxi, i jinde, až do té míry, že byly zásady ochrany proti hluku sepsány a uzákoněny zákonem č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Z toho důvodu jsou základní akustické veličiny definovány tak, aby výstižně popisovaly účinek zvuku na člověka. Jsou jimi mimo jiné intenzita zvuku s jednotkou decibel, kmitočet zvuku nebo čas působení zvuku. Vzhledem k tomu, že člověk přichází se zvukem do kontaktu v podstatě neustále, kdy díky technologickým revolucím jsou neustále vytvářeny nové zdroje zvuku, je nutné bránit sluch před zvuky o vysokých intenzitách vylučovaných po dlouhou dobu. Zvuk je z fyzikálního hlediska mechanické vlnění o frekvenci mezi 16 a 20000 Hz. Přestože se intenzita zvuku se vzdáleností od zdroje zvuku snižuje, tyto rušivé podněty jsou nežádoucí a vzniká tak snaha je odstranit útlumem či samotným pohlcením. Z toho důvodu se v prostoru interiéru využívají plochy či objekty, které svým povrchem, velikostí, či tíhou jsou schopny zvuk tlumit či pohlcovat. Při použití materiálů, které budou zvuk v interiéru pouze odrážet, nastane zvýšení hladiny akustického tlaku oproti stavu, kde se zvuk šíří volně. Všeobecně se dají zvuk pohlcující konstrukce rozdělit na pórovité konstrukce, kmitající membrány a desky, dutinové rezonátory či jejich kombinace. [37]

### 4.1 Pórovité konstrukce

Konstrukce s vysokou pórovitostí jsou značně používány v běžné praxi pro tlumení zvuku vzhledem k jejich struktuře z navzájem propojených pórů. Prvky s touto strukturou jsou obvykle použity jako obklady a podhledy. Při použití omítky s pórovitou strukturou lze dosáhnout dalšího zvýšení celkové pohltivosti zvuku v interiéru, avšak při nanesení nátěru na již pohltivý materiál je možné, že se zvuková pohltivost povrchu konstrukce z tohoto materiálu sníží. Porézní materiály jsou například lehký beton, akustická tlumící pěna či minerální vata. [37]

Lehký či lehčený beton je typ betonu s obsahem hrubého kameniva a zároveň bez obsahu jemné frakce kameniva. Právě použité kamenivo dává za vznik pórovité struktuře potřebné pro útlum a pohlcení zvuku. Objemová hmotnost materiálu po vysušení při 1055 °C je maximálně 2000 kg/m<sup>3</sup> a neměl by být pod 800 kg/m<sup>3</sup>. Lehký beton se dělí na hutný a mezerovitý s rozdílem obsahu vzduchu v betonu ve ztuhnutém stavu. Rozdílem v použití je, že lehké hutné betony lze použít na vyztužené i nevyztužené konstrukce a mezerovité lehké betony se používají výhradně na nenosné nevyztužené konstrukce. Je tomu tak z důvodu nedostatečnosti ochrany ocelové výztuže. [14, 41]

Obvykle používané kamenivo pro lehký hutný beton je keramzit, což je umělý kámen vytvořený vypalováním specifického druhu jílu ve vysokých teplotách. Jejich tvar je kulový s hnědým až hnědočerveným s hrubým povrchem s drobnými hrbolky, stukturou podobný pískovci s vnitřní pórovitou struktu-

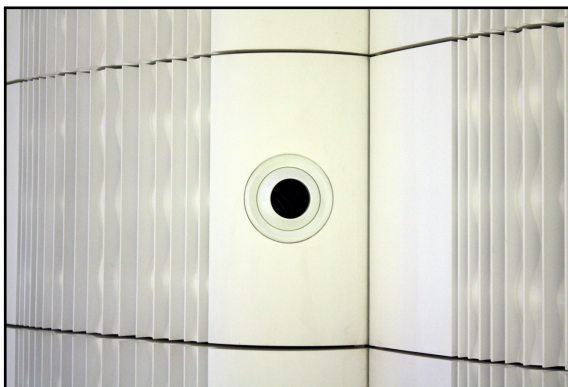
rou (viz obr. č. 11).



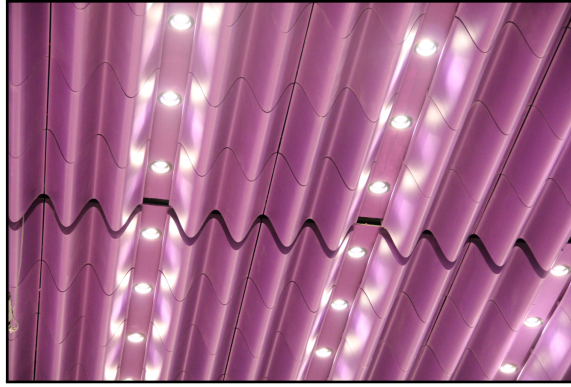
Obrázek 11: Ukázka keramzitu, [38]

## 4.2 Kongresové centrum Zlín

Příkladem vědeckého pokroku s tématem akustika jsou panely použité v interiéru Kongresového centra ve Zlíně, které navrhla prof. Eva Jiříčná. Panely použité pro kongresové sály byly za pomoci akustických zkoušek vyrobeny ze sklovláknobetonu (viz obr. č. 12 a 13). Vyráběly se pomocí technologie stříkaného sklovláknobetonu neboli polyconu do speciálních forem. Panely tak nejenom že byly funkční, ale vzhledově adekvátní do navrženého prostoru. [36]



Obrázek 12: Akustický sklovláknitý betonový obklad stěny, [39]



Obrázek 13: Akustický sklovláknitý betonový obklad stropu, [40]

### 4.3 Těžké konstrukce

Druhou možností pro tlumení zvuku šířícího se vzduchem je využití právě tíhy vlastní konstrukce. Každá konstrukce má vlastní frekvenci kmitání. Pokud do konstrukce narazí akustická vlna blízká se vlastní frekvencí konstrukce, frekvence vibrace konstrukce se zvětší a zvuk tak projde stěnou. Nejvíce problematické jsou proto velmi tenké konstrukce bez pórovité struktury tlumící tento efekt, či velmi ohebné konstrukce. Na druhou stranu konstrukce s velkou objemovou hmotností a tuhostí dokáží téměř utlumit vibrace zvuku. Vlastní frekvence železobetonu je relativně malá, tudíž vibrace o nízkých frekvencích dokáží projít tímto materiálem, avšak vyšší frekvence jsou utlumeny. [42]



## 5 Požadavky na zkoušky materiálových vlastností

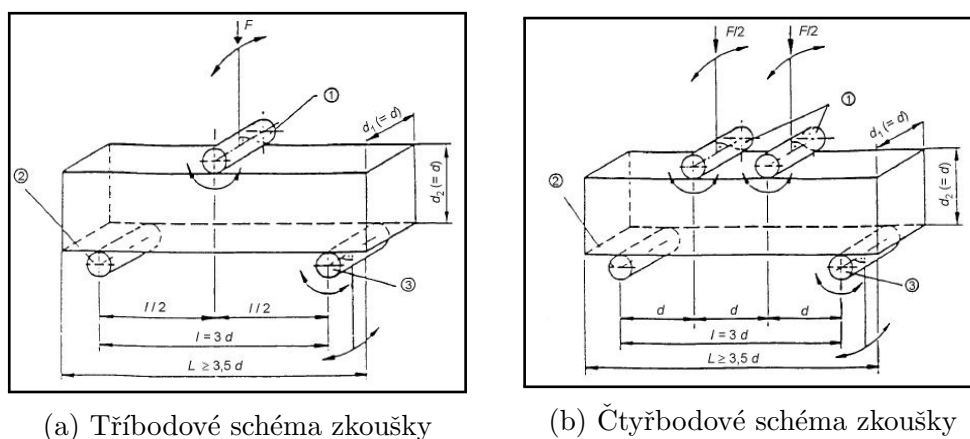
Pro experimentální část bylo nutné znát předpisy pro laboratorní zkoušky, které budou probíhat. Bylo stanoveno, že budou použity zkoušky jak čerstvého betonu, tak i již ztvrdlého betonu. Konkrétně bylo postupováno podle *Zkušební metody malt pro zdivo - stanovení konzistence čerstvé malty*, dále pak *Zkoušky ztvrdlého betonu - Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles a Pevnost v tlaku*.

### 5.1 Zkouška ztvrdlého betonu - pevnost v tahu ohybem zkušebních těles

Zkoušky pevnosti v tahu ohybem jsou prováděny dle normy ČSN EN 12390-5. Podstatou zkoušky je vystavení zkušebních těles ve tvaru hranolů ohybovému momentu od zatížení vnášeného do hranolu pomocí zatěžovacích válečků na horním povrchu a podpěrných válečků na spodním povrchu tělesa. Ze zkoušky získáme největší dosažené zatížení, které se zaznamená a výpočtem z něj získáme pevnost v tahu ohybem.

Zatěžování může probíhat dvěma uspořádáními, a to tříbodovým a čtyřbodovým uspořádáním. Jednotlivé sestavy jsou přesně popsány v normě ČSN EN 12390-5.

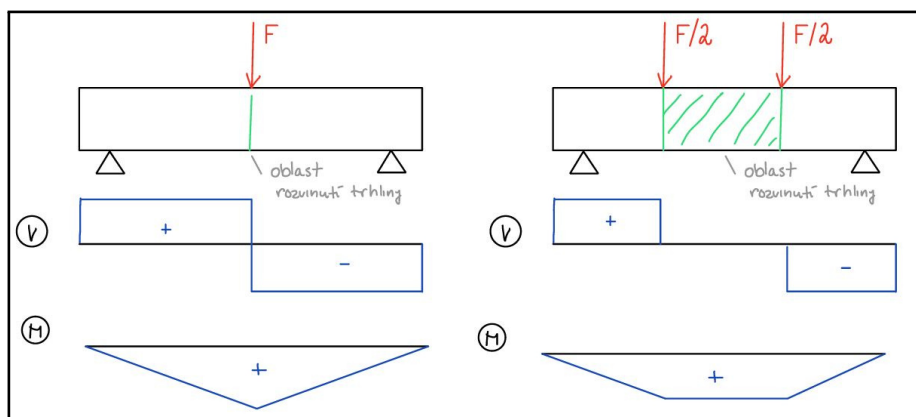
Zkouška se provádí za stálé teploty, která je v rozmezí  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ . Vzorky se do lisu umísťují centricky, podélnou osou kolmo k podélným osám horních a dolních válečků soustavy lisu (viz obr. č. 14). Zkouška vždy probíhá tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr ukládání betonu zkušebního tělesa. Tříbodové uspořádání vykazuje vyšší výsledky než čtyřbodové uspořádání. [1]



Obrázek 14: Schéma sestav zkoušky pevnosti v tahu ohybem

U čtyřbodového uspořádání se trhliny objevují v oblasti s konstantním ohybovým momentem a nulovou posouvající silou, tzn. ve střední třetině mezi zatěžovacími válečky. Vzhledem k nulové ohybové síle v místě porušení dojde k porušení čistým ohybem, tudíž je více vypovídající o hodnotě pevnosti betonu v tahu za ohybu. Trhliny u tříbodového uspořádání se rozvíjí přesně v místě změny křivosti zkoušeného tělesa (viz obr. č. 15). Výstupem ze zkoušky

tahu za ohybu je protokol, jehož náležitosti jsou vypsány v normě ČSN EN 12390-5. [1, 18]



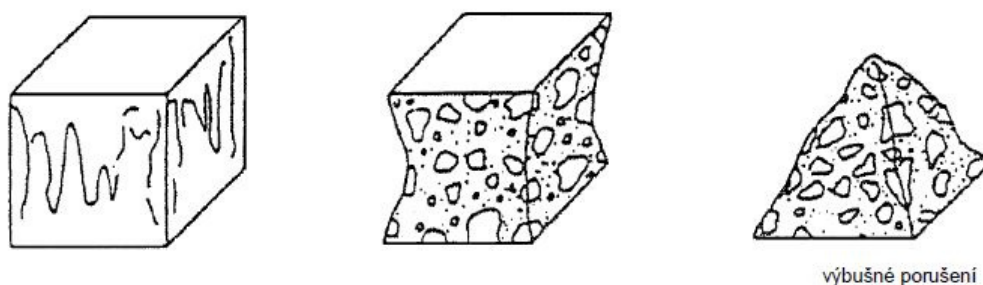
Obrázek 15: Průběh vnitřních sil ve zkoušeném tělese při zkoušce pevnosti v tahu ohybem, [1]

## 5.2 Zkouška ztvrdlého betonu - pevnost v tlaku

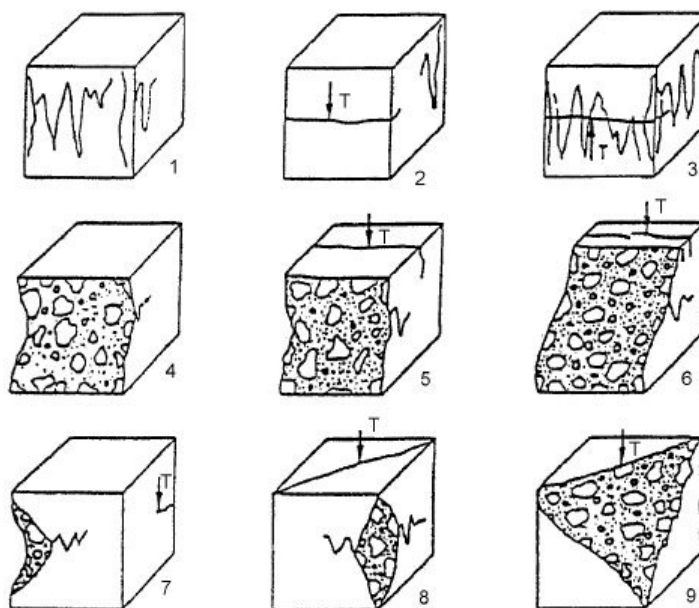
Zkoušky pevnosti v tlaku jsou prováděny dle normy ČSN EN 12390-3. Podstatou zkoušky je vystavení zkušebních těles takovému tlakovému zatížení, aby se tělesa porušila ve zkušebním lisu. Ze zaznamenaného maximálního zatížení se výpočtem zjistí pevnost betonu v tlaku.

Zkušební těleso musí být krychle, válec či vývrt vyhovující normě ČSN EN 12390-4. V případě zkušebního tělesa nevyhovujícího dovoleným odchylkám je nutné postupovat dle postupu přílohy B této normy.

Při zkoušce mohou vzorky být porušeny vyhovujícím a nevyhovujícím způsobem. Pokud se zkoušené těleso poruší nevyhovujícím způsobem, je nutné toto těleso vyřadit z vyhodnocování. Výstupem z tlakové zkoušky je protokol, jehož náležitosti jsou vypsány v normě ČSN EN 12390-3. [2]



Obrázek 16: Vyhovující tvary porušení krychle při tlakové zkoušce [2]



Legenda  
T = tahová trhlina

Obrázek 17: Nevyhovující tvary porušení krychle při tlakové zkoušce [2]

### 5.3 Zkušební metody malt pro zdivo - stanovení konzistence čerstvé malty

Konzistence čerstvé malty se zpravidla používá před přistoupením k posuzování jejich charakteristických vlastností. Konzistence je charakterizována rozlitím a nebo i vlhkostí čerstvé malty. Tato zkouška se provádí dle normy ČSN EN 1015-3. [3]

Pro provedení zkoušky je nutné mít připravený střešací stolek, kovový kužel, dusadlo, zednickou lžící a špachtli. Podrobný popis použitých nástrojů lze najít ve výše zmíněné normě. Všechny používané nástroje je nutné před každou zkouškou očistit vlhkou tkaninou a otřít do sucha. Po vyrobení čerstvé malty se získá zkušební vzorek pomocí děliče vzorků či kvartací. Na střešací stolek se do středu umístí kužel a naplní se maltou ve dvou vrstvách, kde se každá vrstva rozprostře nejméně 10 lehkými údery dusadla pro jeho rovnoměrné naplnění. Po naplnění se přebytečná malta setře za pomoci špachtle a volná plocha desky se očistí. Po 15 sekundách se kovový kužel opatrně zvedne kolmo vzhůru a malta se na střešacím stolku rozlije za pomoci patnácti úderů kličkou s konstantní frekvencí jednoho zdvihu za 1 sekundu.

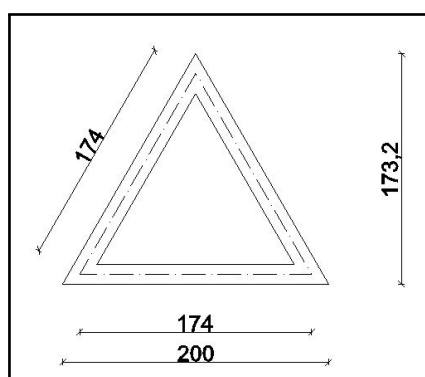
Pro vyhodnocení zkoušky se nejdříve provede změření průměru koláče malty ve dvou na sebe kolmých směrech. Tato hodnota je zaznamenána v milimetrech. Následně se pokus opakuje pro získání alespoň dvou hodnot rozlití. Průměrná hodnota z naměřených rozlití je následně výslednou hodnotou této zkoušky.

Výstupem stanovení konzistence čerstvé malty je protokol jehož náležitosti jsou vypsány v normě ČSN EN 1015-3. [3]

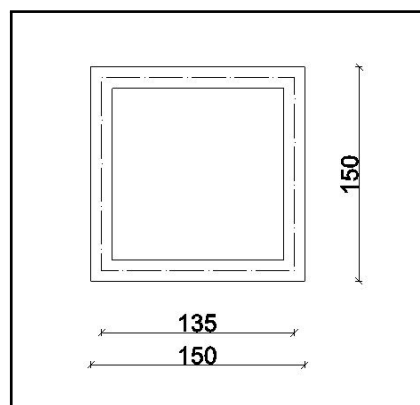
# Praktická část

## 6 Koncepce prefabrikované kancelářské dělicí stěny

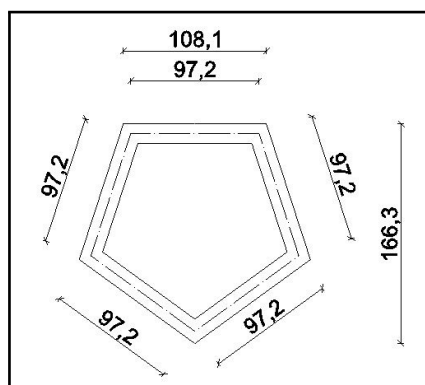
Hlavní náplní diplomové práce je vytvoření koncepce kancelářské dělicí stěny, jejíž vlastností bude měnitelnost vzhledových i fyzikálních vlastností. Bylo proto nutné přijít s koncepcí modulového systému, který by umožňoval zaměnitelnost segmentů. Tudíž byla nosná konstrukce oddělena od vyměnitelných částí. Z této úvahy pak vznikla vstupní podmínka pro nosnou konstrukci taková, aby trámy vytvářející nosnou konstrukci byly štíhlé a vytvářely pravidelné otvory o jednotné velikosti a identickém geometrickém tvaru. Další požadovanou vlastností byla její prefabrikovatelnost pro vytvoření přesné geometrie stěny, která není proveditelná „in-situ“. Posledním požadavkem na dělicí stěnu byla její vzhledová malebnost a přírodní motiv. V posledních letech se přírodní motivy velmi často objevují v pracovních prostředích. Při bližším pohledu na rostliny, přírodou vytvořené struktury apod. je nutné podotknout, že jejich styl přenášení zatížení je proveden s co nejmenším odporem.



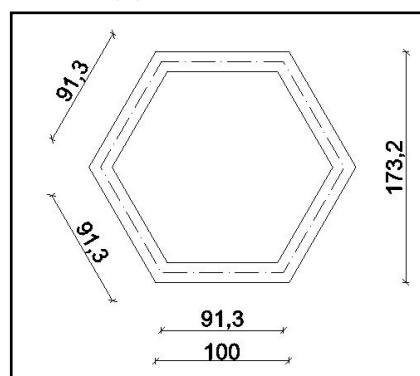
(a) model trojúhelníku



(b) model čtverce



(c) model pentagonu

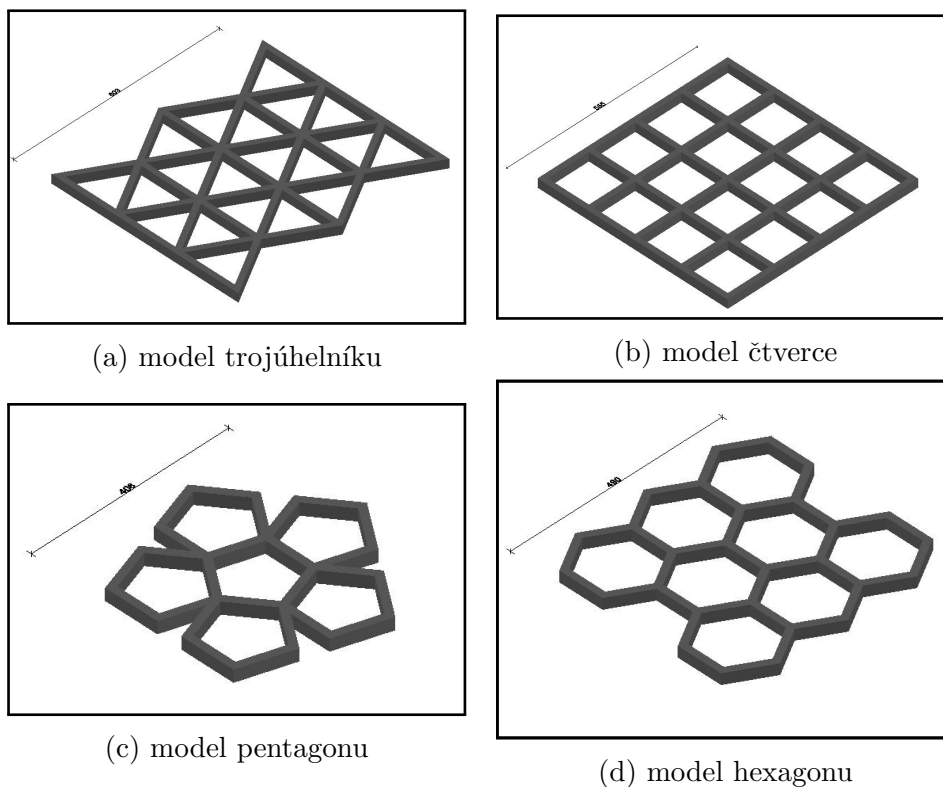


(d) model hexagonu

Obrázek 18: Modely uvažovaných segmentů

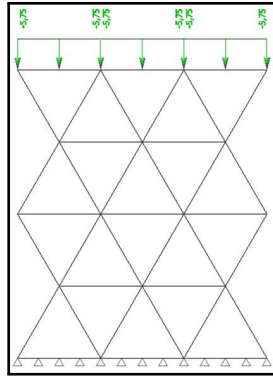
Vstupní podmínky tak určily možnosti vyskládání jednotlivých trámů

v modulovém systému, který sestává z rovnostranných mnohoúhelníků. Z rovnostranných mnohoúhelníků byly uvažovány trojúhelníky, čtverce, pětiúhelníky a šestiúhelníky (viz obr. č. 18). Jednotlivé modely stavebních prvků z jednotlivých geometrických tvarů byly vytvořeny ve 3D kreslicím prostředí (viz obr. č. 19). Pentagon byl vyřazen jako první vzhledem k nemožnosti vytvoření pravidelného rozložení jednotlivých segmentů do roviny (viz obr. č. 19c).

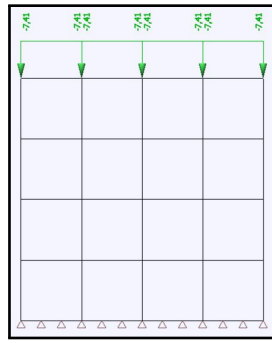


Obrázek 19: Modely zkoumaných tvarů ve 3D

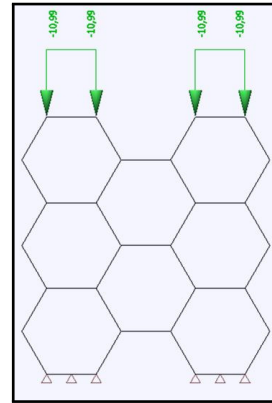
Pro porovnání byly vytvořeny modely segmentů z jednotlivých geometrických tvarů ve výpočetním programu. Modely byly vytvořeny z jednotného železobetonového profilu 15 x 25 mm. Z konstrukčního hlediska byly styčníky propojeny pro simulování rámového rohu. Tyto modely pak byly zatíženy jednotkovou silou přepočtenou na liniové zatížení.



(a) trojúhelníkový model

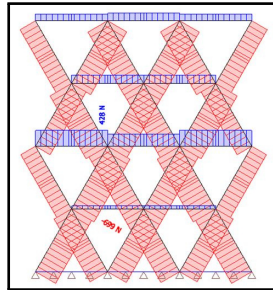


(b) čtvercový model

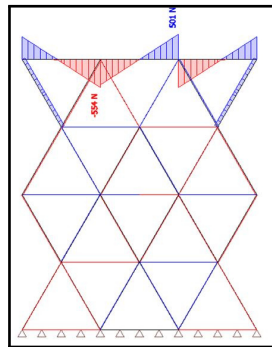


(c) hexagonový model

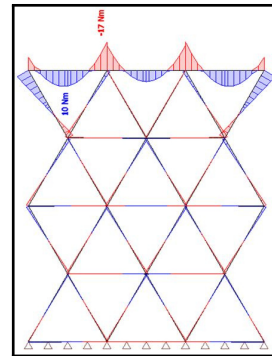
Obrázek 20: Zatížení modelů jednotkovou silou přepočtenou na liniové zatížení



(a) N

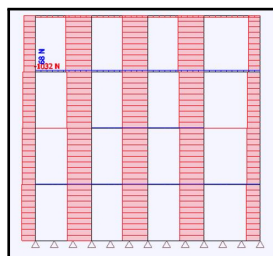


(b) V

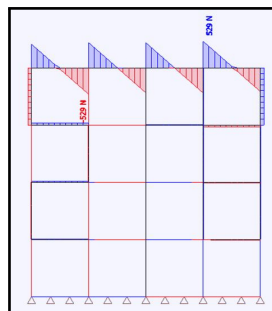


(c) M

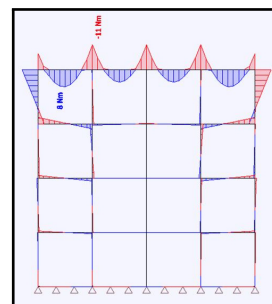
Obrázek 21: Vnitřní síly na trojúhelníkovém modelu zatíženém jednotkovou silou



(a) N

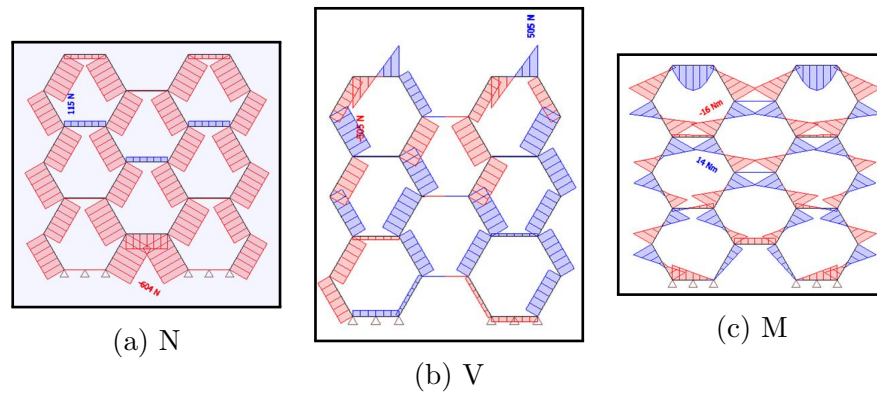


(b) V



(c) M

Obrázek 22: Vnitřní síly na čtvercovém modelu zatíženém jednotkovou silou



Obrázek 23: Vnitřní síly na hexagonovém modelu zatíženém jednotkovou silou

Tabulka 1: Maximální vnitřní síly na modelech od jednotkového zatížení

model	N [N]	V [N]	M [Nm]
trojúhelník	-699	-554	-17
čtverec	-1032	-529	-11
hexagon	-604	-505	-16

Pro vytvoření vzorku prefabrikované dělicí stěny byl ve finále vybrán hexagonový model. Momenty v rámových rozích nejsou nejmenší z vybraných možností, avšak z vybraných modelů má nejmenší normálové a posouvající vnitřní síly. Tento model byl vybrán též díky jeho přírodnímu motivu plástve.

## 7 Výroba vzorku prefabrikované dělicí stěny v „semi-scale“ měřítku

### 7.1 Ověření konceptu

V rámci koncepce dělicí příčky bylo prvotním cílem zjistit, zdali samotná nosná konstrukce příčky bude proveditelná. Tento experiment je dále nazýván jako pokus č. 1. Byl zvolen postup vyrobení jednorázové formy z desky extrudovaného polystyrenu (dále pod zkratkou XPS).

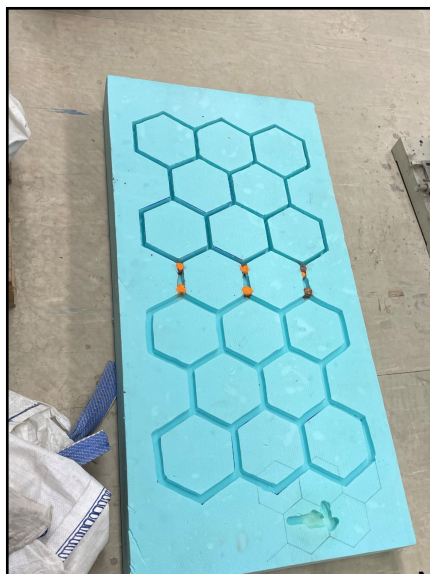
Do XPS desky byly vyřezány dva vzorky o velikosti totožné s velikostí SCIA modelu. Tloušťky vzorků byly vyhotoveny ve velikosti 10 a 20 milimetrů. Pro jednoduchost byly vzorky pojmenovány P1.10 (vzorek tloušťky 10 mm) a P1.20 (vzorek tloušťky 20 mm). Vyřezání bylo provedeno pomocí ruční frézy s vrtákem o průměru 10 mm. Na fréze byla nastavena výška, do které vrták dokáže prostoupit, a to tak, aby odpovídala požadované tloušťce výsledného vzorku.

Pro prvotní vzorek bylo rozhodnuto zhotovit jej z drátkobetonu s použitím čediče jako plniva. Výhody drátkobetonu jsou lepší odolnost proti smršťování a mírné zachycení vnitřních sil, které by prostý beton nebyl schopen přenést. Dále byla směs doplněna silikou. Pro zlepšení tekutosti čerstvého betonu a celkovou manipulaci s ním byl do směsi přidán superplastifikátor. Přesné složení betonové směsi je uvedeno v tabulce č. 2 i s parametry jako jsou výrobce, či frakce. Před betonáží byla forma opatřena vrstvou odbedňovače, který v ideálním případě zajišťuje nepřilnavost betonu ke stěnám formy. Na obrázcích 24 až 26 je zachycen výrobní postup výše zmíněných vzorků.

Tabulka 2: Složení betonové směsi pro pokus č. 1

<b>Betonová směs BS1</b>			
cement	CEM I 42,5 Radotín		650
voda			190
kamenivo	Čedič	[ kg/m <sup>3</sup> ]	1645
silika			80
superplastifikátor	<i>STACHEMENT 787</i>		26
vodní součinitel	v/c	[-]	0,29





Obrázek 24: Vyfrézovaná XPS deska jako forma pro vzorky pokusu č. 1



Obrázek 25: Čerstvá betonová směs č.BS1 pro vzorky pokusu č. 1



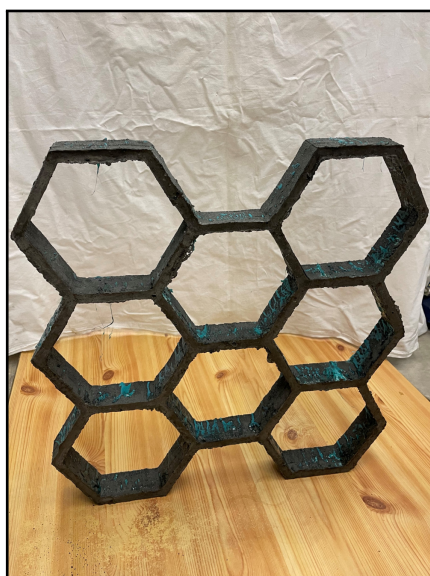
Obrázek 26: Čerstvě vylité vzorky pokusu č. 1

Po 2 dnech od betonáže byl proveden pokus o odbednění. Přestože byla forma z XPS desky a byla na ni nanesena vrstva olejového odbedňovacího přípravku, vzorky pokusu 1 nebylo možné odbednit bez poškození, či použití chemikálií. Vzorek P1.10 byl při odbednění poškozen natolik, že jednotlivé segmenty (viz obr. 27). V návaznosti na neúspěch u vzorku P1.10 byl vzorek P1.20 odbedněn za pomoci roztavení XPS desky acetonem. Tento proces byl úspěšný natolik, že se povedlo vzorek odbednit bez poškození (viz obr. 28). Dle očekávání však směs roztaveného polystyrenu a acetonu vytváří lepidlo, která běžně používají v modelářství. Tato látka tak částečně ulpěla na vzorku P1.20, a to převážně na vnitřních stěnách hexagonů.

Z obrázku č. 28 lze vidět, že samonosný rám z hexagonů je vyrobitelný, z čehož byla potvrzena proveditelnost konceptu. Avšak jeho výroba s použitím jednorázové formy by byla při dalším opakování značně nákladná a neekologická vzhledem k nutnosti použití chemikálií. Pro vytvoření prefabrikovatelné říčky bylo tudíž nutné vytvořit formu, která by byla recyklovatelná, či použitelná opakovaně.



Obrázek 27: Vzorek P1.10 po odbednění



Obrázek 28: Vzorek P1.20 po odbednění

## 7.2 Výroba vzorků s rozebíratelnou formou

V návaznosti na jednorázovost formy pokusu č. 1 byla vytvořena dřevěná rozebíratelná forma. Forma byla zhotovena tak, aby výsledný vzorek P2.10 byl totožný se vzorkem P1.10, tudíž měl tutéž tloušťku 10 mm. Změnou oproti vzorku P1.10 byla snaha o jednoduchost připravené formy, přičemž byly vynechány 2 boční hrany formy (viz obr. č. 29). Tato změna byla provedena pro snadnější rozebíratelnost dané formy.

Beton vzorku P2.10 byl použit totožný s betonem v pokusu č. 1 (viz tabulka č. 2). Na obrázcích 29 - 30 je vyobrazen pracovní postup betonáže vzorku P2.10, kde před započítím vlastní betonáže byla forma opatřena od-

bedňovacím prostředkem na bázi oleje. Po betonáži byla celá deska s formou překryta fólií pro zmírnění smršťovacích trhlin.



Obrázek 29: Připravená dřevěná rozebíratelná forma pro pokus č. 2



Obrázek 30: Čerstvě vylitý vzorek pokusu č. 2

V průběhu prvního dne od betonáže nastaly značné komplikace. Při kontrole byly na vzorku nalezeny smršťovací trhliny v rámových rozích. Prvek byl proto odbedněn a uložen do vodní lázně ve snaze o jejich zmenšení. Naneštěstí se prvek nepovedlo zachránit. Smršťovací trhliny vznikly napříč průřezy, a integrita prvku tak byla porušena, jak je vidět na obrázku č. 31 a 32.



Obrázek 31: Vzorek P2.10 po odbednění



Obrázek 32: Rozsah trhlin ve vzorku P2.10

Z odbednění vzorku P2.10 vyplynul požadavek na použití betonové směsi, která by odolala smršťovacím silám ve zrajícím betonu. Dále vyplynula nutnost použití alespoň jednoho segmentu dřevěné formy, který by byl tvarově upraven tak, aby při odbednění šel snáze oddělit od formy, čímž by se vytvořil prostor pro oddělení ostatních segmentů dřeva od formy.

## 8 Návrh receptury cementového kompozitu pro výrobu dělicí stěny

Jak již bylo výše zmíněno, z pokusu č. 2 vzešla nutnost odolnosti betonu proti smršťování. Pro tento účel byly do směsi přidány ocelové drátky. V rámci této diplomové práce byly navrženy 4 receptury čerstvého betonu, kde návrh receptur proběhl tak, aby vznikly dvě směsi s a bez obsahu ocelových drátků.

Tabulka 3: Složení betonové směsi BS2-MDJ

<b>Betonová směs BS2-MDJ</b>			
cement	CEM I 42,5 Radotín		650
voda			240
kamenivo	Čedič frakce 0-2 mm	[ kg/m <sup>3</sup> ]	1640
silika			80
ocelové drátky			40
superplastifikátor	<i>STACHEMENT 787</i>		15
vodní součinitel	v/c	[-]	0,37

Tabulka 4: Složení betonové směsi BS2-MDH

<b>Betonová směs BS2-MDH</b>			
cement	CEM I 42,5 Radotín		650
voda			230
kamenivo	Čedič frakce 0-4 mm	[ kg/m <sup>3</sup> ]	1640
silika			80
ocelové drátky			40
superplastifikátor	<i>STACHEMENT 787</i>		15
vodní součinitel	v/c	[-]	0,35

Tabulka 5: Složení kontrolní betonové směsi BS2-MJ

<b>Kontrolní betonová směs BS2-MJ</b>			
cement	CEM I 42,5 Radotín		650
voda			235
kamenivo	Čedič frakce 0-2 mm	[ kg/m <sup>3</sup> ]	1640
silika			80
superplastifikátor	<i>STACHEMENT 787</i>		15
vodní součinitel	v/c	[-]	0,36

Směsi byly rozděleny dle obsahu ocelových drátků se zkratkou D a dle obsahu frakce kameniva na frakci 0 - 2 mm se zkratkou J a frakci 0 - 4 mm se zkratkou H . Dále se směsi lišili vodním součinitelem. Složení betonové směsi BS2-MJ bylo totožné se složením BS1 pro možnost porovnání s předešlými experimenty. Směsi BS2-MDJ a BS2-MDH obsahují ocelové drátky. Byla snaha o vytvoření směsí blížících se vysokopevnostnímu betonu.

Tabulka 6: Složení kontrolní betonové směsi BS2-MH

Kontrolní betonová směs BS2-MH			
cement	CEM I 42,5 Radotín		650
voda			230
kamenivo	Čedič frakce 0-4 mm	[ kg/m <sup>3</sup> ]	1640
silika			80
superplastifikátor	<i>STACHEMENT 787</i>		15
vodní součinitel	v/c	[-]	0,35

### 8.1 Betonáž vzorků pokusu č. 3

Jednotlivé betonové směsi byly použity pro betonáž do formy s pracovním názvem „trojče“ (viz obr. č. 33), ze které jsou vždy vytvořeny 3 trámečky o profilu 40 x 40 mm a o délce 100 mm. Na obrázcích č. 34 - 39 je vyobrazen pracovní postup při betonáži pokusu č. 3. V průběhu betonáže byla provedena zkouška čerstvého betonu rozlitím, jejíž proces je blíže popsán v následující podkapitole.

K odbednění vzorků pokusu č. 3 (viz obr. č. 39 - 40) došlo po sedmi dnech od betonáže. Vzorky byly následně označeny a uloženy, aby po nejméně 28 dnech mohly být v lisech zkoušeny na tah a tlak.



Obrázek 33: Použitá forma „trojče“ pro betonáž pokusu č. 3



Obrázek 34: Navážený materiál pro betonáž pokusu č. 3



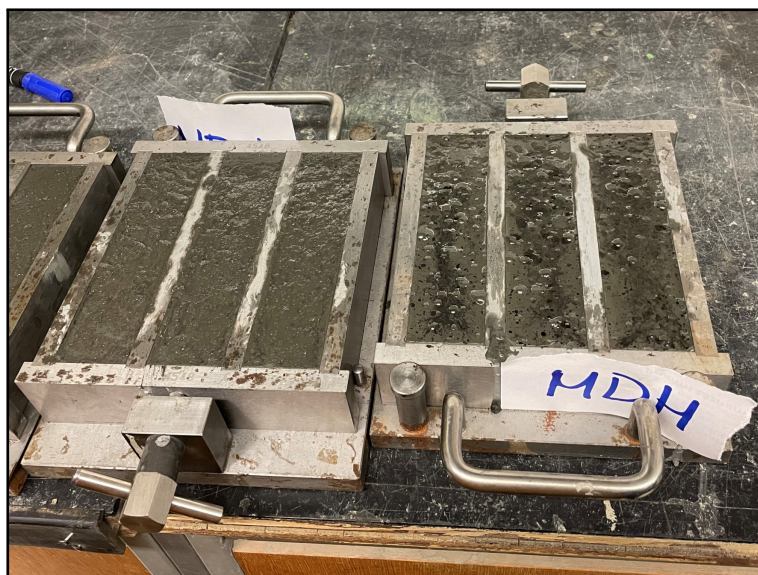
Obrázek 35: Čerstvý beton směsi BS2-MDJ

Obrázek 36: Čerstvý beton směsi BS2-MDH





Obrázek 37: Čerstvý beton směsi BS2-MJ      Obrázek 38: Čerstvý beton směsi BS2-MH



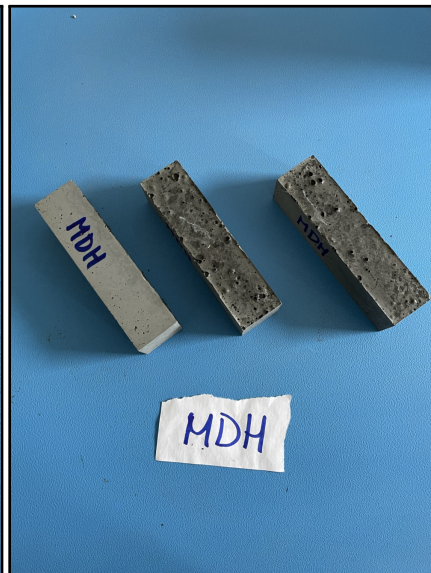
Obrázek 39: Vybetonované trámečky směsi BS2-MDJ a BS2-MDH



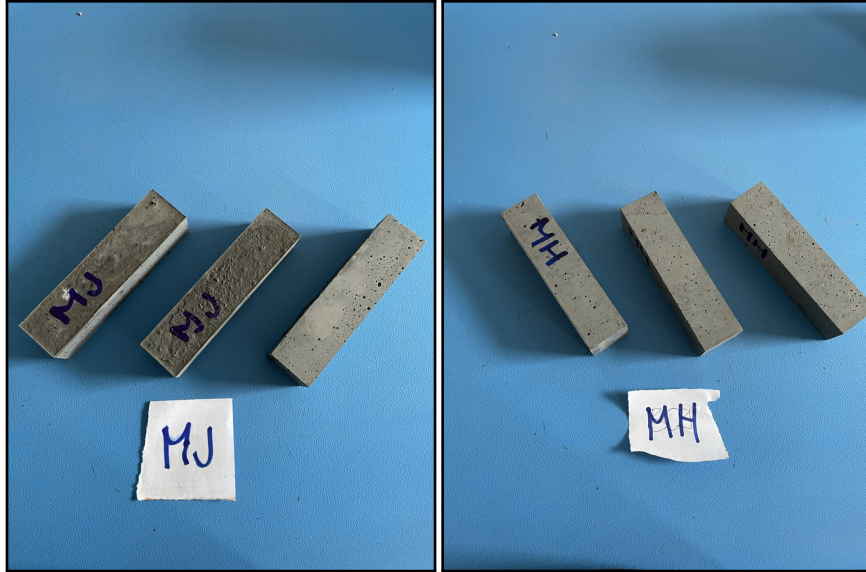
Obrázek 40: Vybetonované trámečky směsmi BS2-MJ a BS2-MH



Obrázek 41: Trámeček z betonové směsi BS2-MDJ



Obrázek 42: Trámeček z betonové směsi BS2-MDH



Obrázek 43: Trámeček z betonové směsi BS2-MJ

Obrázek 44: Trámeček z betonové směsi BS2-MH

## 8.2 Zkušební metody malt pro zdivo - stanovení konzistence čerstvé malty

Při betonáži vzorků pokusu č. 3, jak již bylo zmíněno výše, byla stanovena konzistence čerstvého betonu podle zkušební metody malt pro zdivo, konkrétně postupu pro stanovení konzistence čerstvé malty (viz kap. 5.3). Tato metoda byla vybrána pro malou frakci kameniva v použitých směsích namísto metody pro čerstvý beton. Zkouška byla provedena dle normy ČSN EN 1015-3, která je podrobněji popsána v teoretické části. [3]



Obrázek 45: Rozlití směsi BS2-MDJ



Obrázek 46: Rozlití směsi BS2-MDH



Obrázek 47: Rozlití směsi BS2-MJ



Obrázek 48: Rozlití směsi BS2-MH

Čerstvý beton byl po uložení do dutého kužele na střešacím stolku a jeho následném odstranění patnácti údery setřesen. Následně byly pomocí svino-  
vacího metru změřeny a zaznamenány rozměry nejdelšího průměru a na něj  
kolmého průměru.

Vyhodnocení jednotlivých směsí bylo provedeno dle postupu provedeném  
v teoretické části (viz kap. č. 5.3). Výsledkem metody pro stanovení konzis-  
tence čerstvého betonu byly průměrné hodnoty rozlití (viz tab. č. 7). Z tabulky  
je pak patrné, že největší schopnost rozlití má směs BS2-MDH. Je nutno po-  
dotknout, že největšího rozlití dosáhla směs BS2-MDH.

Tabulka 7: Výsledky zkoušky rozlití betonových směsí

směs	směr x [mm]	směr y [mm]	průměr [mm]
BS2-MDJ	165	160	162,5
BS2-MDH	190	195	192,5
BS2-MJ	150	155	152,5
BS2-MH	180	180	180

### 8.3 Zkouška ztvrdlého betonu

Po 79 dnech byly vzorky pokusu č. 3 podrobeny zkouškám ztvrdlého betonu, a to zkoušce pevnosti v tahu ohybem a zkoušce pevnosti v tlaku. Vzhledem ke stáří betonu je křivka pevnosti betonu narůstající, avšak pevnost v 28 dnech a v 79 se liší v jednotkách procent.

#### 8.3.1 Pevnost v tahu ohybem

Jako první byla provedena zkouška pevnosti v tahu ohybem dle normy *ČSN EN 12390-5*, blíže popsané v kapitole 5.1. Tato zkouška byla vybrána pro započetí zkoušení vzorků pokusu č. 3 pro možnost získání dvojnásobného počtu zkušebních vzorků po rozlomení trámečků, kde by každý nově vzniklý kvádrík měl délku okolo 50 mm.

Prvně byly jednotlivé vzorky změřeny a následně byly tyto hodnoty zaznamenány do protokolu pro jejich vyhodnocení (viz příloha. č. 1). Bylo využito třibodové schéma pro zatěžování testovacích vzorků. Pro ilustraci je níže vyobrazena jedna modelová ukázka osazení testovacích vzorků v zatěžovacím zařízení, v dalších odstavcích zkráceně nazývaného lis (viz obr. č. 49).



Obrázek 49: Zatěžovací soustava zkoušky pevnosti v tahu ohybem

Dle očekávání byly vzorky BS2-MDJ a BS2-MDH při zkoušce nalomeny, avšak stále zůstal trámeček propojen. Tuto vlastnost propůjčily betonu právě přimíchané ocelové drátky jakožto rozptýlená výztuž, která zajišťuje celistvost prvku po vytvoření trhliny (viz obr. č. 50). Kontrolní vzorky prostého vysokopevnostního betonu se rozlomily křehkým porušením, jež je prostému betonu vlastní (viz obr. č. 51). Dle očekávání tělesa ze směsí MDJ a MDH jeví vyšší pevnost, jejich porušení není náhlé a prvek i po destrukci zůstane spojen.



(a) směs BS2-MDJ

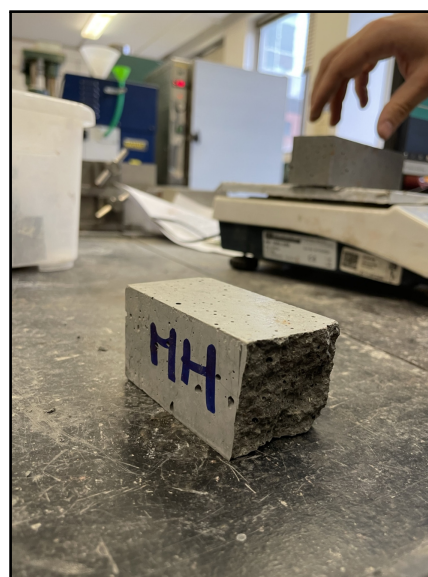


(b) směs BS2-MDH

Obrázek 50: Výsledné rozlomení trámečků směsi BS2-MDJ a BS2-MDH po zkoušce pevnosti v tahu ohybem



(a) směs BS2-MJ



(b) směs BS2-MH

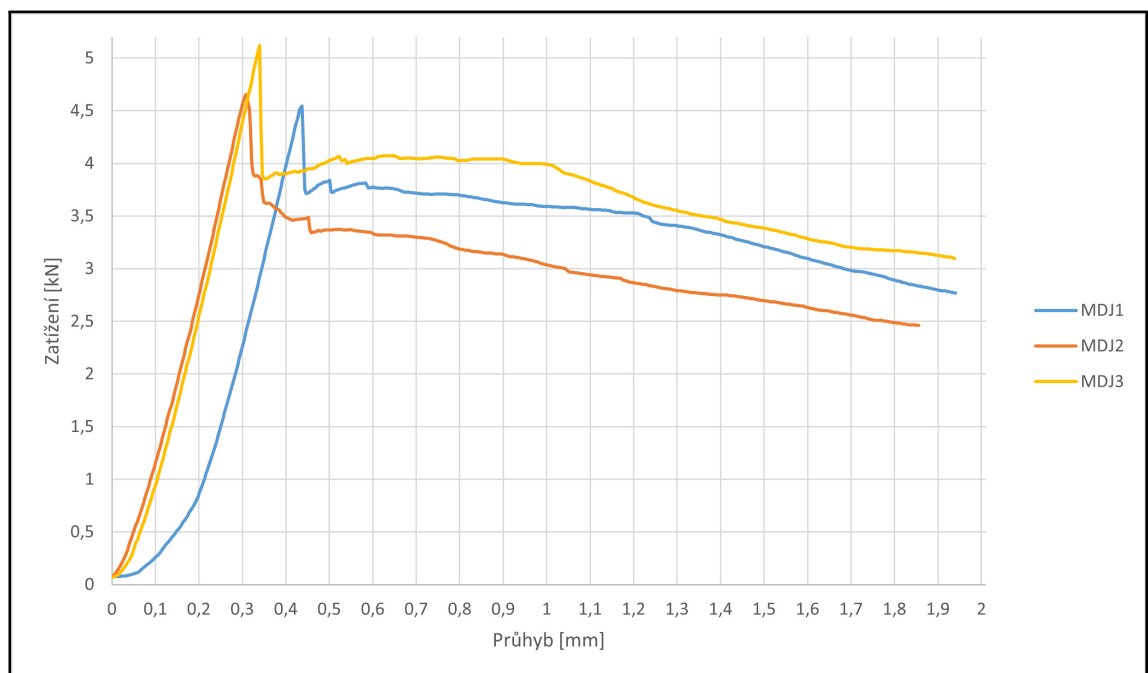
Obrázek 51: Výsledné rozlomení trámečků směsi BS2-MDJ a BS2-MDH po zkoušce pevnosti v tahu ohybem

Číselné hodnoty zatěžovací síly a průhybů byly po úpravě graficky vyhodnoceny (viz obr. č. 52 - 55). Hodnoty byly upraveny za pomoci jednotné síly  $F = 0,072$  kN, při které lze říci, že si lis dosedl, a již začalo probíhat zatěžování. Této hodnotě byla přiřazena hodnota průhybu jako nulová. Dále byl vytvořen protokol o zkoušce pevnosti v tahu ohybem (viz příloha č. 2), ve kterém byly naměřené hodnoty přepočteny na průměrné hodnoty tahové pevnosti jednotlivých betonových směsí. V tabulce č. 8 jsou vypsány průměrné

hodnoty pevnosti v tahu ohybem a jejich směrodatné odchylky. Pro srovnání všech grafických výstupů této zkoušky byl vytvořen graf, jež je vyobrazen na obrázku č. 56.

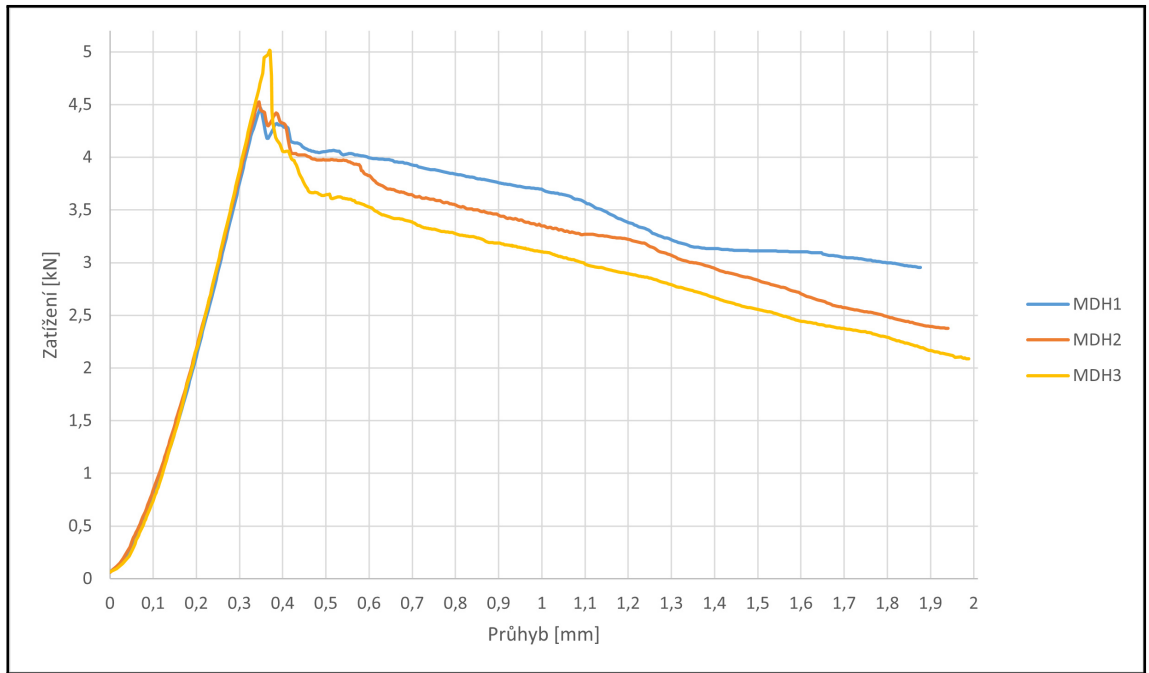
Tabulka 8: Pevnost v tahu ohybem jednotlivých směsí

směs	průměrná pevnost [MPa]	směrodatná odchylka
MJ	11,88	0,4
MH	10,29	0,1
MDJ	11,32	0,5
MDH	11,29	0,5

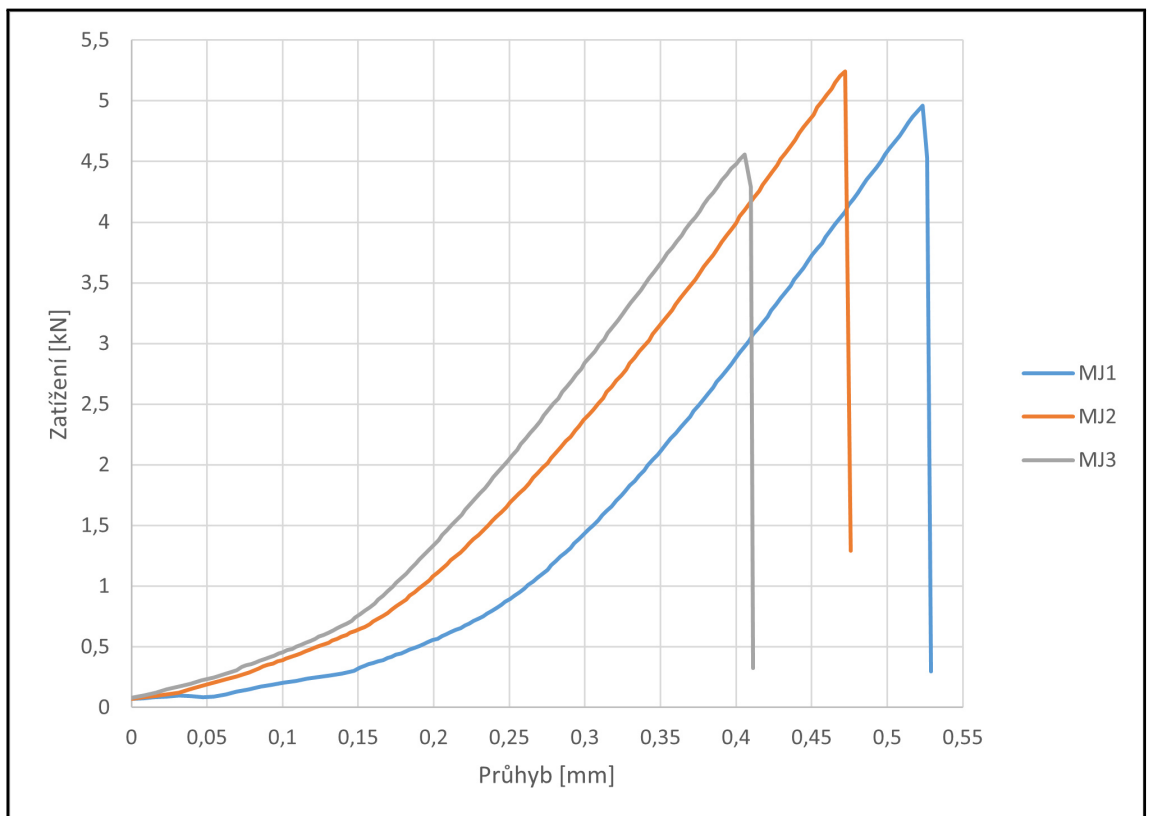


Obrázek 52: Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tahu ohybem směsí BS2-MDJ

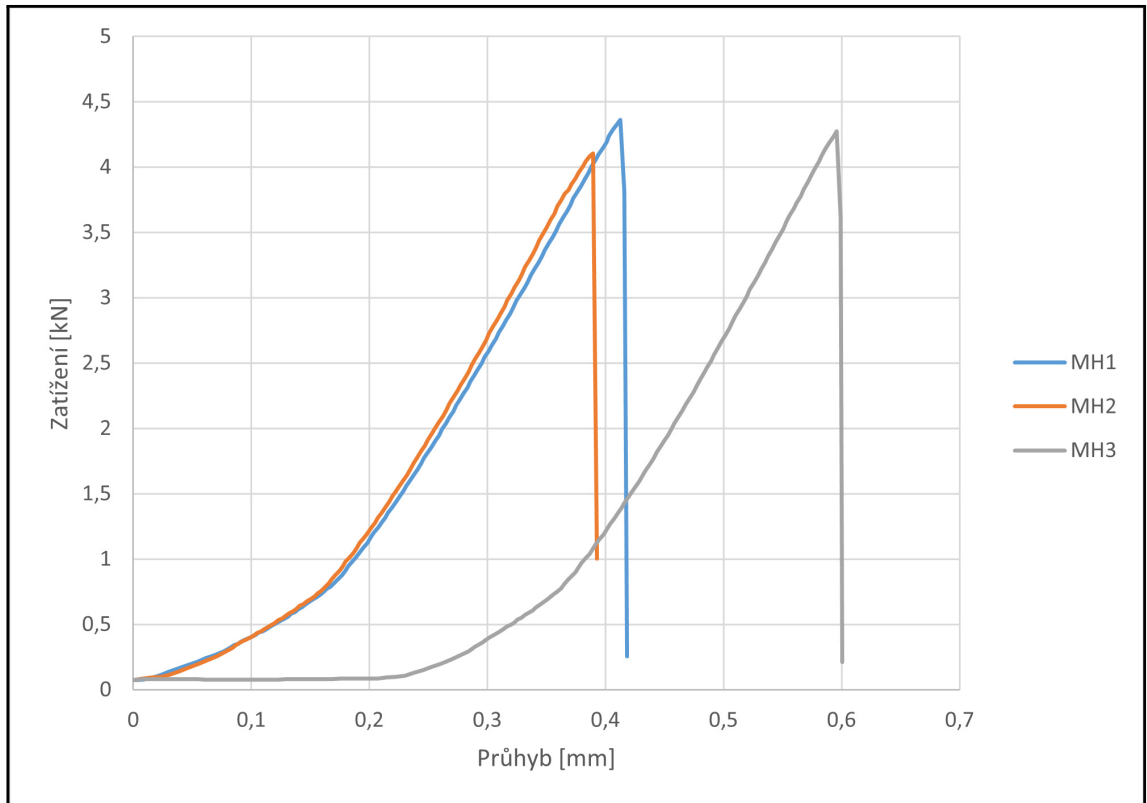




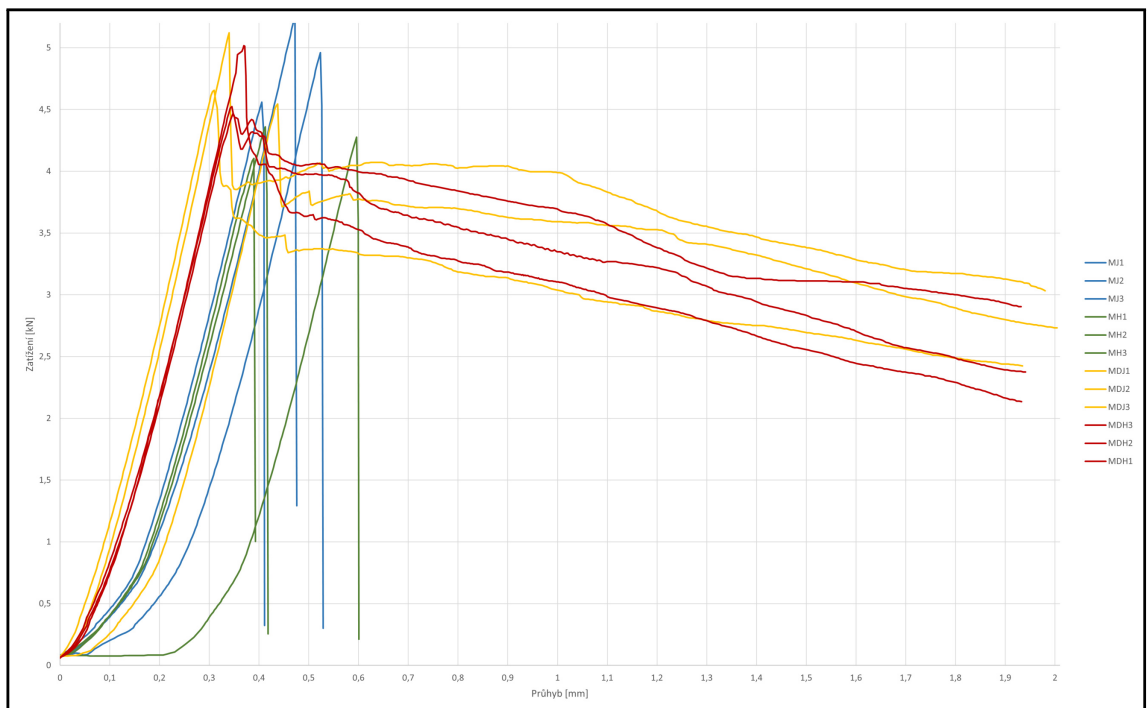
Obrázek 53: Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tahu ohybem směsí BS2-MDH



Obrázek 54: Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tahu ohybem směsí BS2-MJ



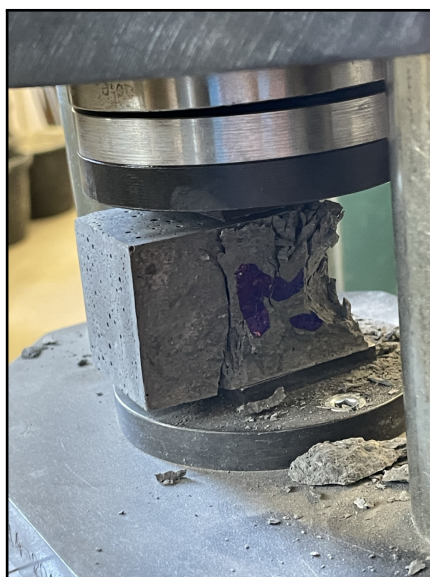
Obrázek 55: Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tahu ohybem směsí BS2-MH



Obrázek 56: Graf porovnávající pracovní diagramy zkoušek pevnosti v tahu ohybem jednotlivých směsí

### 8.3.2 Pevnost v tlaku

Po provedení zkoušky pevnosti v tahu ohybem byla provedena zkouška pevnosti v tlaku dle normy *ČSN EN 12390-3* a její přílohy B, blíže popsané v kapitole 5.2. Porušená tělesa z předešlé zkoušky byla znovu změřena a zvážena, v jejímž průběhu byly jednotlivé hodnoty pečlivě zaznamenány. Díky rozlomení trámečků v předešlé zkoušce, či jejich následnému dozlomení u prvků ze směsí BS2-MDJ a BS2-MDH, mohlo být pro zkoušku pevnosti betonu v tlaku použito vždy 6 těles jedné betonové směsi. Na obrázku č. 57 je ilustrativně vykresleno uspořádání zkoušky. [2]



Obrázek 57: Ilustrativní vyobrazení uspořádání zkoušky pevnosti betonu v tlaku

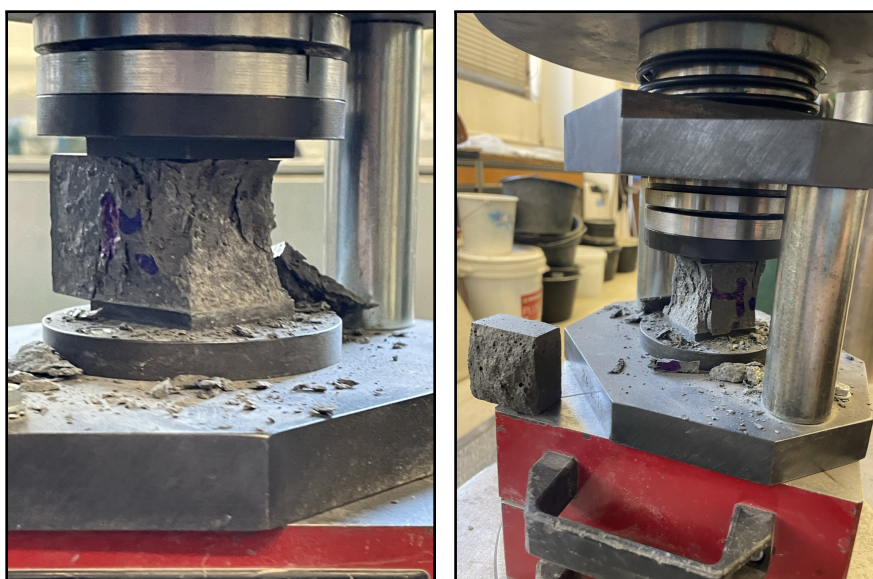
Dle očekávání byly kvádříky betonových směsí BS2-MDJ a BS2-MDH při zkoušce rozdrčeny jen částečně, a i po dosažení meze pevnosti si držely celistvost a pevnost (viz obr. č. 58). Kontrolní kvádříky betonových směsí BS2-MJ a BS2-MH byly při zatěžování porušeny křehce (viz obr. č. 59).



(a) směs BS2-MDJ

(b) směs BS2-MDH

Obrázek 58: Výsledné rozdrčení kvádrů směsi BS2-MDJ a BS2-MDH po zkoušce pevnosti v tlaku



(a) směs BS2-MJ

(b) směs BS2-MH

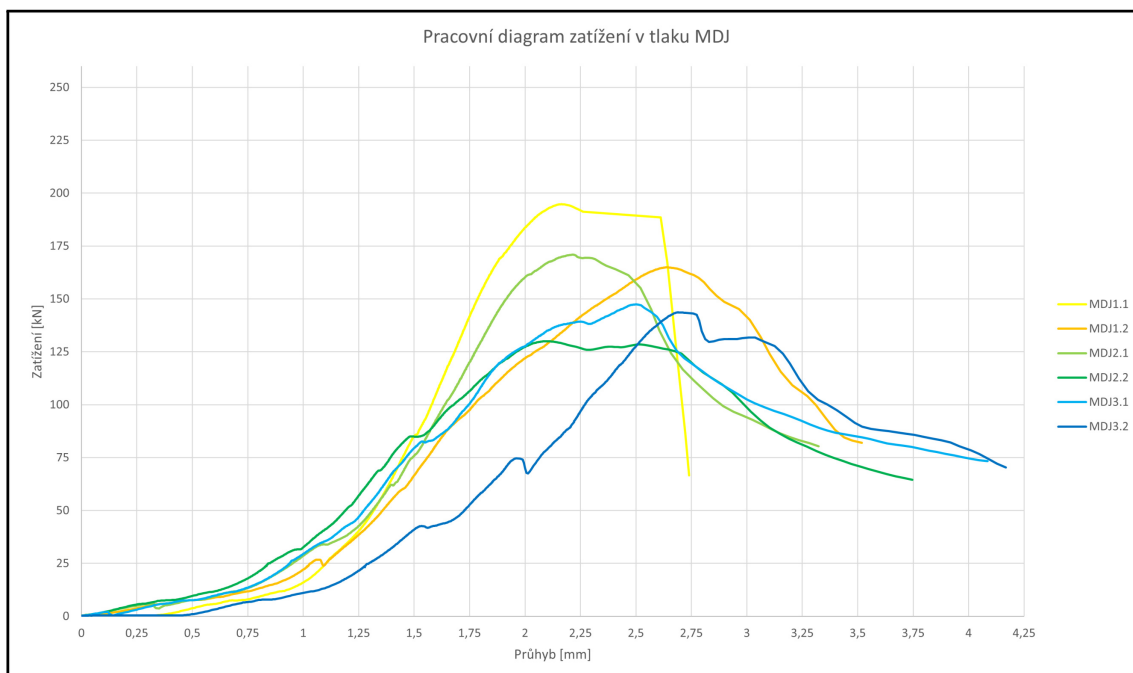
Obrázek 59: Výsledné rozdrčení kvádrů kontrolních směsí BS2-MJ a BS2-MH po zkoušce pevnosti v tlaku

Číselné hodnoty zatěžovací síly a svislého posunu byly po úpravě graficky vyhodnoceny (viz obr. č. 60 - 63). Hodnoty byly upraveny za pomoci jednotné síly  $F = 0,25 \text{ kN}$ , při které lze říci, že si lis dosedl, a již začalo probíhat zatěžování. Této hodnotě zatěžovací síly byla přiřazena hodnota svislého posunu jako nulová. Dále byl vytvořen protokol o zkoušce pevnosti betonu v tlaku (viz příloha č. 2), ve kterém byly naměřené hodnoty přepočteny na průměrné hodnoty tlakové pevnosti jednotlivých betonových směsí. V tabulce

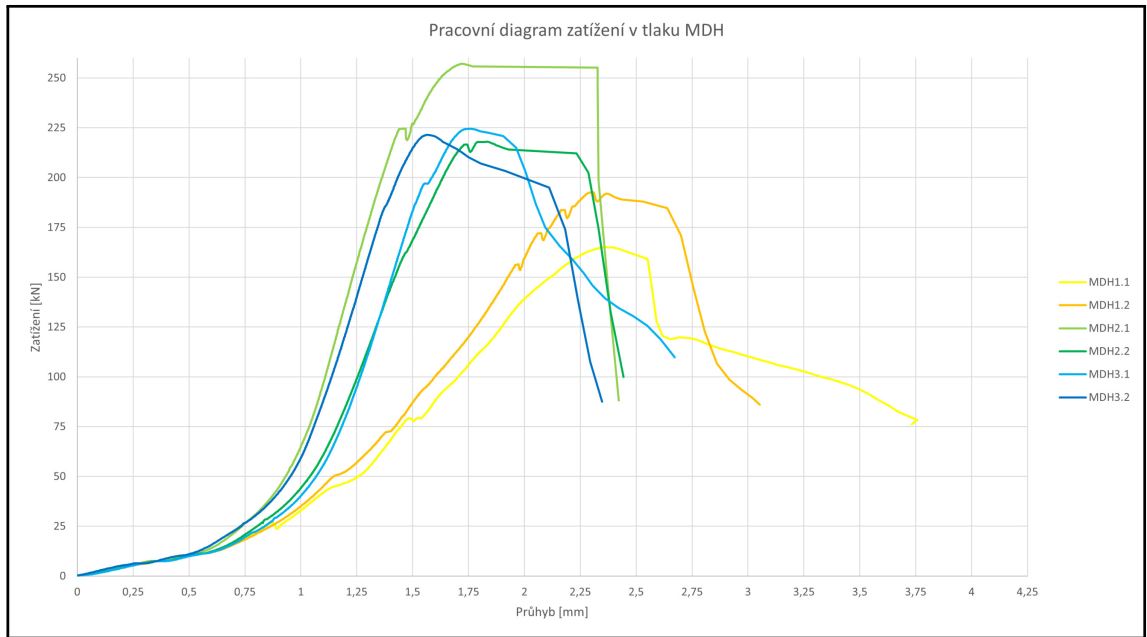
č. 9 jsou vypsány průměrné hodnoty tlakové pevnosti jednotlivých směsí a jejich směrodatné odchylky. Pro srovnání všech grafických výstupů této zkoušky byl vytvořen graf zobrazený na obrázku č. 64.

Tabulka 9: Pevnost v tlaku jednotlivých směsí

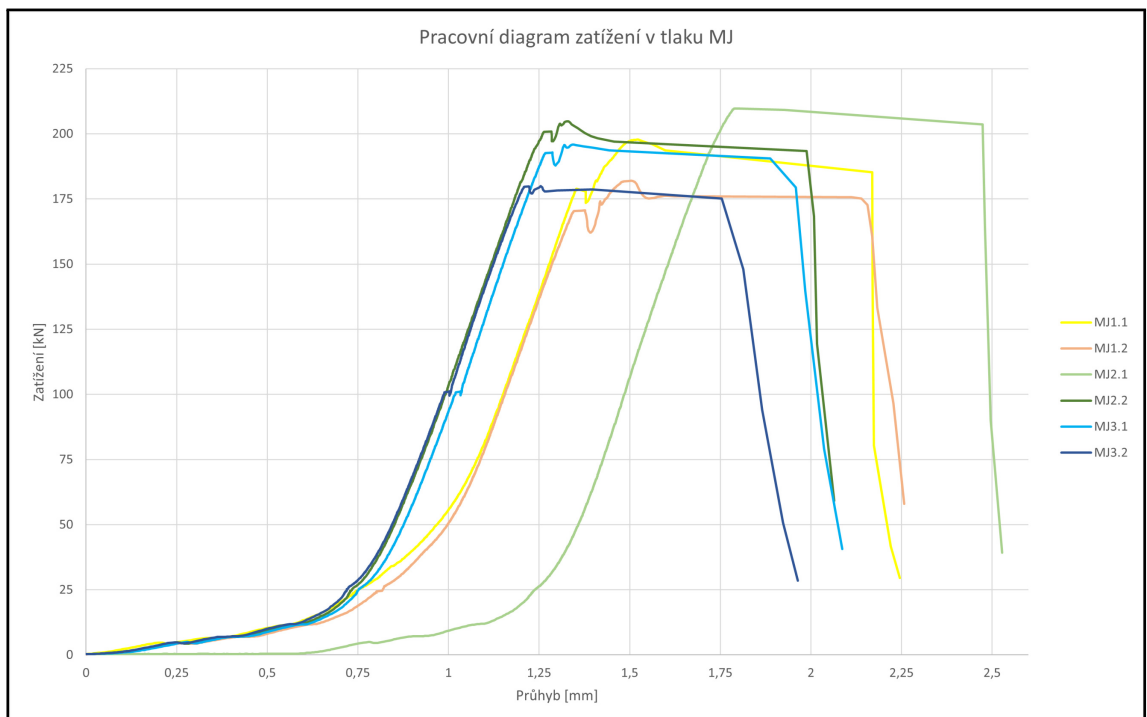
směs	pevnost [MPa]	směrodatná odchylka
MJ	124,4	5,7
MH	126,2	6,5
MDJ	100,9	14,3
MDH	137,5	17,8



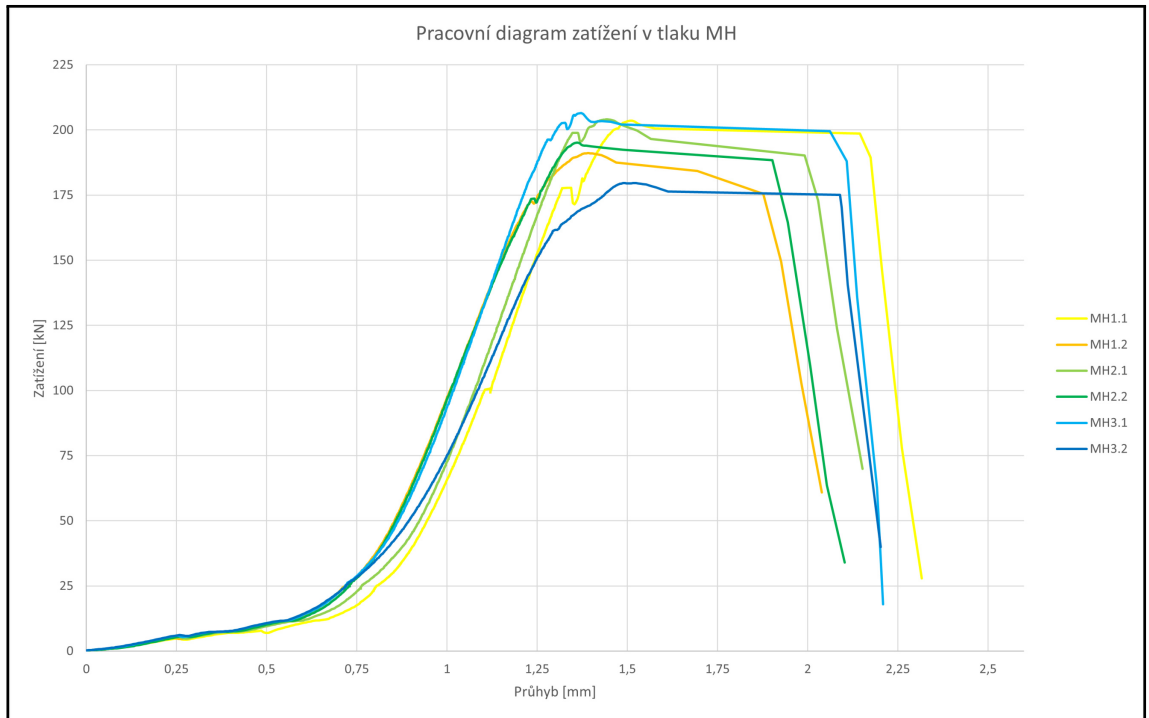
Obrázek 60: Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku směsí BS2-MDJ



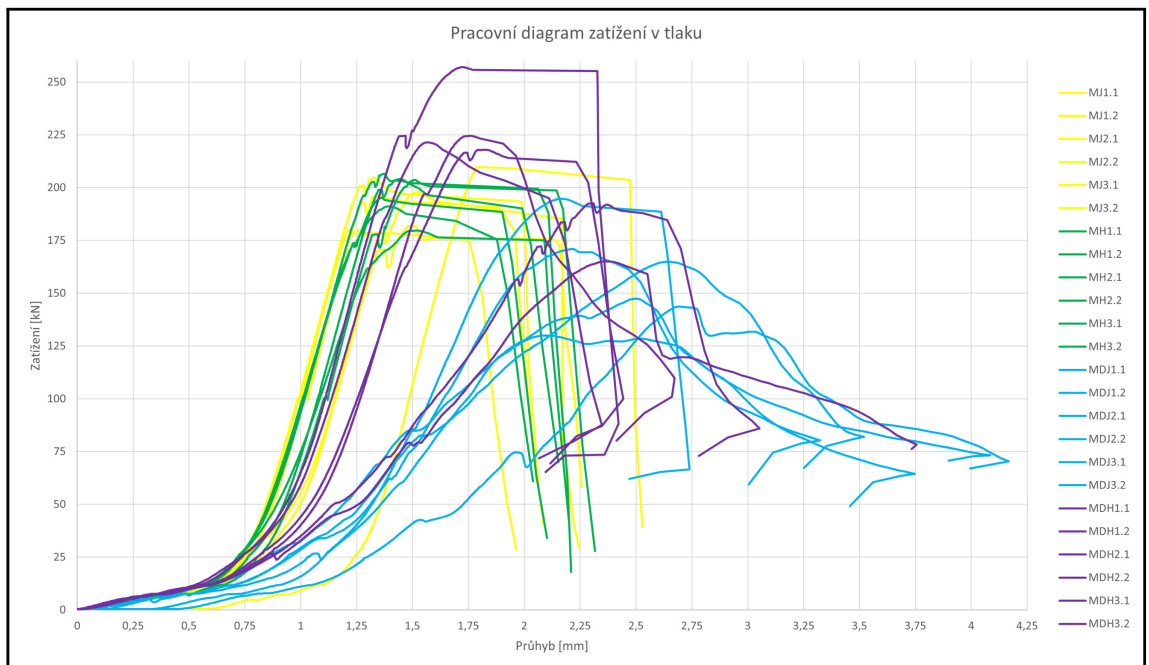
Obrázek 61: Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku směsí BS2-MDH



Obrázek 62: Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku směsí BS2-MJ



Obrázek 63: Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku směsí BS2-MH



Obrázek 64: Graf porovnávající pracovní diagramy zkoušek pevnosti v tlaku

### 8.3.3 Vyhodnocení zkoušených betonových směsí

Pro srovnání výsledků jednotlivých zkoušek betonových směsí pokusu č. 3 byla vytvořena tabulka č. 10. Z této tabulky pak můžeme vyčíst, že betonová směs BS2-MDH vykazuje větší pevnost v tlaku a je taktéž lépe zpracovatelná než ostatní směsi. V pevnosti v tahu ohybem předčila směs BS2-MDH jen směs BS2-MDJ, a to o pouhé 3 setiny MPa. Z tohoto důvodu byla vybrána směs BS2-MDH jako primární betonová směs užitá v navazujících experimentech.

Tabulka 10: Vyhodnocení zkoušených betonových směsí

směs	pevnost tlak [MPa]	pevnost tah-ohyb [MPa]	rozlití [mm]
MJ	124,4	11,88	152,5
MH	126,2	10,29	180
MDJ	100,9	11,32	162,5
MDH	137,5	11,29	192,5



## 9 Výroba prototypu

Po provedení vyhodnocení se přistoupilo k započetí výroby prototypu v semi-scale měřítku předpokládané velikosti jednoho prvku.

### 9.1 Výroba prototypu rámové konstrukce č. 1

V prvotních pokusech byl použit postup výroby napodobující pokus č. 2. Kvůli duplicitě daného postupu bude v dalších odstavcích popsán pouze finální postup výroby prototypu rámové konstrukce č. 1, se zkratkou PRK č. 1.

Pro výrobu formy byly použity dřevěné díly z formy pro pokus č. 2. Díly, které byly poškozené, byly nahrazeny. Nové díly hexagonálního bednění byly po nařezání zbrušeny a namočený, aby neovlivnily záměsovou vodu čerstvého betonu. Znovu použité díly hexagonálního bednění byly očištěny od zatvrdlého betonu z pokusu č. 2 a byly taktéž namočený. Následně byly exponované hrany opatřeny tkanou kobercovou lepicí páskou pro zajištění úplné nenasákavosti dřevěných povrchů. Dno formy, taktéž ze dřeva, bylo rovněž saturováno vodou. Před samotnou betonáží byla celá forma opatřena vrstvou odbedňovacího prostředku (viz obr. č. 65). Je nutné podotknout, že náročnost přípravy dřevěné formy je značná, a pro prefabrikovatelnost dílce by bylo vhodné vyrobit formu, jejíž proces přípravy pro betonáž bude zrychlen.



Obrázek 65: Připravená dřevěná forma k betonáži prototypu č. 1

Samotná betonáž probíhala za stálé teploty 24 °C. Jak již bylo výše zmíněno, byla použita betonová směs BS2-MDH (viz tab. č. 4). Betonáž proběhla bez problémů. Vzhledem ke zkušenosti z pokusu č. 2 byla vybetonovaná forma překryta fólií pro udržení odparu z povrchu vybetonovaného prvku na minimum.



Obrázek 66: Vybetonovaná dřevěná forma prototypu č. 1

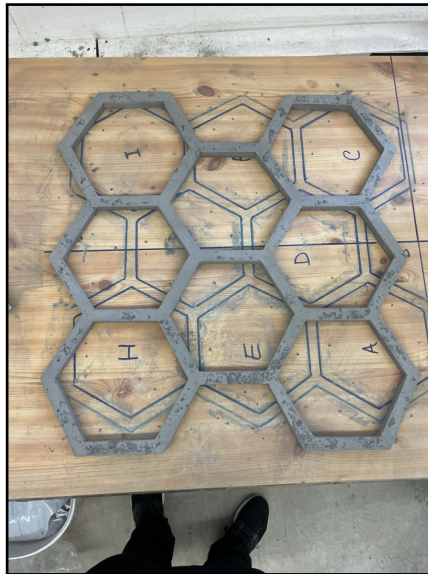
Při kontrole před procesem odbednění prvku PRK č. 1 byly zjištěny mikrotrhliny od smršťování, avšak jejich velikost nebyla markantní, a tudíž bylo přistoupeno k jeho odbednění. S potěšením po úspěšném odbednění bylo zjištěno, že mikrotrhliny od smršťování se nacházely pouze na exponovaném povrchu, a to pouze na omezených plochách. Prvek byl následně úspěšně otestován pro stabilitu bez vnějších podpor a bez vnějšího zatížení (viz obr. č. 67).



Obrázek 67: Prototyp rámové konstrukce č. 1 ve vzpřímené poloze bez vnějšího zatížení

Vzhledem k použité formě měl prvek PRK č. 1 značně nerovnoměrný povrch hran. Byla zde obava z nemožnosti osazení jednotlivých výplní do otvorů. Proto byla provedena snaha o úpravu povrchu prvku PRK č. 1 zbrúšením.

To však způsobilo poškození prvku. Při ručním zbrusu smirkovým papírem došlo k rozvoji trhlin a vytvoření nových trhlin na prvku. Tyto trhliny se rozevřely skoro přes celý profil prvku. Po zpozorování poškození vytvořeného povrchovou úpravou byl proces úpravy zastaven, avšak poškození se již nedalo napravit (viz obr. č. 68). Při bližším prozkoumání příčiny rozvoje trhlin se došlo k závěru, že vytvořené opakované příčné zatížení na prvek v jednom místě způsobilo přílišné posuvné síly a momenty, které rámové rohy již nebyly schopny přenést.



Obrázek 68: Rozsah poškození prvku PRK č. 1

## 9.2 Výroba prototypu rámové konstrukce č. 2

Kvůli nezdarům z pokusu o výrobu prototypu za pomoci dřevěné formy a náročnosti sestavení dřevěné formy pro betonáž vznikla potřeba výroby nové formy z materiálu, ve kterém lze vytvořit rovné hrany; která bude přesná a která bude opakovatelná. Vzhledem k neúspěchu formy z XPS desek byl tento materiál ihned vyřazen z procesu výběru. Do něj však byly zařazeny formy z oceli a formy ze silikonu, které se běžně používají na výrobu okrasných betonových prvků. [43]

Nakonec byla vybrána forma ze silikonu vzhledem ke značné finanční zátěži pro výrobu ocelové formy. Pro zhotovení silikonové formy byl v prostředí mimo laboratoř vytvořen dřevěný model betonového rámu. Byl zhotoven o výšce 25 mm a tloušťce 15 mm z prken o nejednotné tloušťce, která byla sjednocena za pomoci hoblovačky s protahem. Dále byla prkna rozřezána na jednotlivé stěny modelu. Pro jeho snadnější složení byly vnitřní prvky nejprve opatřeny ozuby, a teprve poté slepeny. Bednění formy bylo vyrobeno z prken o výšce 35 mm pro vytvoření dna silikonové formy o mocnosti 10 mm. Pro snížení spotřeby silikonu byly do formy umístěny výplně, které zajišťovaly tloušťku stěny silikonové formy alespoň 10 mm (viz obr. č. 69). Pro zajištění modelu a výplní při vylévání formy silikonem byly jednotlivé prvky formy přilepeny a zajištěny vruty skrze desku tvořící dno formy.



Obrázek 69: Připravená dřevěná forma pro vylití silikonem

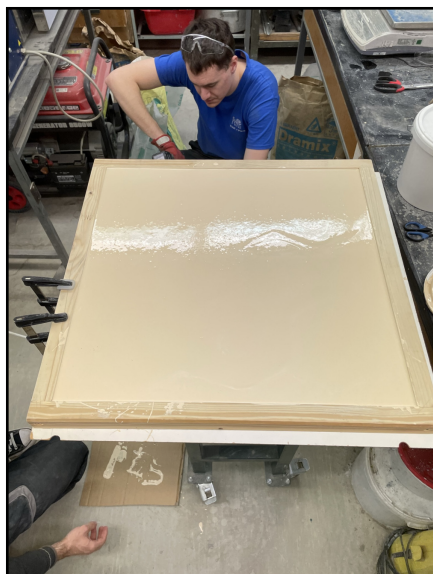
Výroba prvku silikonové formy probíhala v laboratorním prostředí. Pro výrobu byl použit silikon značky *LUKOPREN*, přesněji *LUKOPREN N 1522*. Jedná se o dvousložkový vylévací silikon určený pro vylévání forem pro betonové prvky. Před odléváním byla forma opatřena separátorem stejné značky, který po zaschnutí vytváří voskovou vrstvu. Silikonu bylo použito 5 + 1,8 kg. Do silikonu se přimíchává jako druhá složka *Katalyzátor N* od stejné značky v poměru 2,5 - 3 g na 100 g silikonu. V tomto případě bylo použito přesně 150 + 54 ml. Po zaschnutí separátoru byly smíchány složky silikonu dohromady a následně byla forma vylita. Celý proces výroby formy je vyobrazen na obrázcích č. 70-72



Obrázek 70: Aktivace dvousložkového silikonu



Obrázek 71: Proces vylévání formy na silikonovou formu pro prvek PRK č. 2



Obrázek 72: Forma vylitá silikonem Obrázek 73: Vzniklá silikonová forma

Po 5 dnech byla forma odbedněna. Bylo zjištěno, že tíha silikonu zvrásnila dno formy, čímž se i dostala pod model stěny, což ve výsledku znesnadnilo odbednění. Formu se nakonec povedlo odbednit vcelku, jen s jednou trhlinou ve dně. Také se podařilo zachránit model stěny pro další vytvoření formy. Připravená forma k betonáži je ukázána na fotce 73.

Výroba prvku PRK č. 2 byla podobná výrobě prvku PRK č. 1. Silikonová forma byla pro proces betonáže vložena do rámu z její formy a byla k němu připevněna vruty pro stabilizaci silikonové formy. Před započítím samotné betonáže byla forma opatřena odbedňovacím nátěrem na bázi oleje. Byly smíchány 3 litry betonové směsi BS2-MDH (viz tab. č. 4). Betonáž probíhala za stálé teploty 24 °C a byla prováděna ručně s dvojitým zvlivňováním na vibračním stole. Pro ilustraci je zde vložen obrázek č. 74.

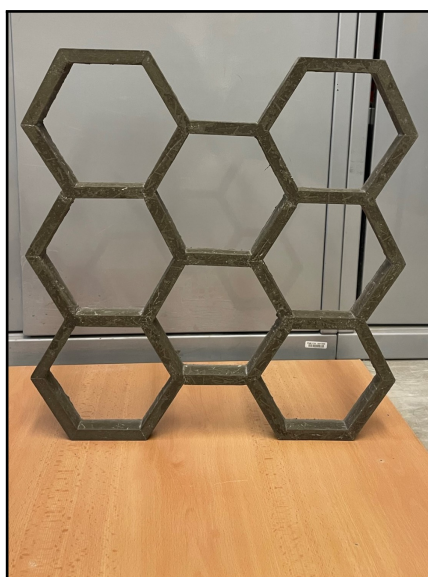


Obrázek 74: Vybetonovaný prvek PRK č. 2.1

K odbednění došlo po 7 dnech. Proces odbednění byl vcelku snadný, kde byly nejprve odstraněny podpůrné části jako je rám a dno. Následně byl samotný prvek vytažen z formy. Prvek PRK č. 2.1 (viz obr. č. 76) byl bez viditelných smršťovacích trhlin. Na exponovaném povrchu bylo vidět prorýsování ocelových drátků, avšak nikde nevyčnívaly (viz obr. č. 75). Zbylé povrchy zakryté ve formě byly ovlivněny prorýsovanou texturou přenesenou z dřevěného modelu do silikonové formy.



Obrázek 75: Přiblížený záběr prvku PRK č. 2.1 na povrch z betonované strany



Obrázek 76: Výstavní prvek PRK č. 2.1

Tento proces byl zopakován nakonec třikrát, kde jediným rozdílem v průběhu bylo odbednění po 5 dnech oproti 7 jako u prvku PRK č. 2.1. Prvek v pořadí 2., tedy PRK č. 2.2, byl při odbedňování poškozen neopatrnou manipulací. Při odbednění prvek v bednění spadl z výšky 10 cm na roh pracovní desky. Prvek

byl poškozen jen v části na kterou dopadl, tudíž bylo rozhodnuto, že bude prvek vyřazen ze zátěžové zkoušky, avšak bude použit pro vyzkoušení testovacího zařízení a testovacích metod. Zbylé prvky PRK č. 2 byly odbedněny bez komplikací.

### 9.3 Výroba výplně do rámové konstrukce s optickými vlákny

Tvar rámové konstrukce udal přesnou podobu výplně. V kap. 3.2 byly teoreticky rozebrány dosud dostupné metody výroby průsvitného betonu s optickými vlákny. Ve zkratce, je možné vyrobit průsvitný beton s optickými vlákny zapicháním optických vláken do formy, proplétáním optických vláken skrze formu, či ukládáním optických vláken mezi tenké vrstvy čerstvého betonu. Pro výrobu prototypu výplně s optickými vlákny v rámci této práce byla využita metoda zapichávání, protože jiné metody vyžadovaly jiné schématické rozložení ukládání vláken. K výrobě byla použita předstřihaná plastová optická vlákna, která byla zapichána do XPS desky a zajištěna tavným lepidlem (viz obr. č. 77).



Obrázek 77: Připravená deska XPS se zapíchanými optickými vlákny

Před započítím výroby výplně s optickými vlákny byly na malých vzorcích průřezu 40 x 40 mm a délky 100 mm vyzkoušeny tři betonové směsi, jež byly zvoleny tak, aby jejich směs byla podobná použité směsi pro výrobu prototypu PRK č. 2, avšak bez ocelových drátků (viz tab. č. 11). Zkouška proběhla pro zjištění zatékavosti betonové směsi do mezer mezi optickými vlákny. Ty měly průměrně hodnotu 4 mm. Proto bylo rozhodnuto, že největší frakce kameniva bude 2 mm. Kamenivo v betonových směsích bylo vždy stejné, a to konkrétně čedič, avšak pro každou směs byl použit jiný poměr frakce, a to 0-1 a 1-2.

Při betonáži vzorků „trojčat“ byly směsi smíchány jen ručně bez použití strojního mixu vzhledem k malému objemu připravovaného čerstvého betonu (viz obr. č. 78). Vybetonované formy pak byly uloženy v konstantním

Tabulka 11: Návrh složení betonové směsi pro výrobu prototypu výplní s optickými vlákny

Betonová směs			BS3.1	BS3.2	BS3.3
cement	CEM I 42,5 Radotín		650	650	650
voda			250	270	230
kamenivo	Čedič, frakce 0-1	[ kg/m <sup>3</sup> ]	700	1050	350
kamenivo	Čedič, frakce 1-2		700	350	1050
silika			80	80	80
superplastifikátor	<i>STACHEMENT 787</i>		15	15	15
vodní součinitel	v/c	[-]	0,38	0,42	0,35

prostředí a překryty plastovou fólií. Odbednění proběhlo po 7 dnech od betonáže. Vzorky byly také důležité pro určení postupu odstranění XPS desky od betonu, kde se jako nejlepší postup projevilo mechanické odstranění pomocí špachtle a kladiva. Na takto připravených vzorcích však setrvávalo ještě značné množství tavného lepidla. Pro jeho odstranění bylo nutné vzorky nahřát na teplotu minimálně 60 °C, kde se částečně znovu roztaví, a následně ponořit do technického lihu. Po 5 minutách v kapalině se pak tavné lepidlo částečně rozpustilo a následně bylo jemným kartáčem mechanicky odstraněno. U vzorků byla také ověřena průsvitnost na denním světle, která byla viditelná lidským okem, což byla jedna z podmínek pro průsvitný beton (viz obr. č. 79).



Obrázek 78: Forma „trojčata“ vybetonována betonem s optickými vlákny





Obrázek 79: Betonové trámečky vzorků výplní s optickými vlákny prosvícené denním světlem

Při rozlomení trámečků bylo stanoveno, že zatékavost směsí byla dostatečná napříč směsmi (viz obr. č. 80). Nebylo tedy nutné rozdělit frakci 0-2 prosetím na frakce 0-1 a 1-2. Pro výrobu prototypu byla upravena frakce kameniva z 0-1 a 1-2 na frakci 0-2, vzhledem k neidentifikovatelným rozdílům mezi směsmi BS3.1-BS3.3 (viz tab. č. 12).

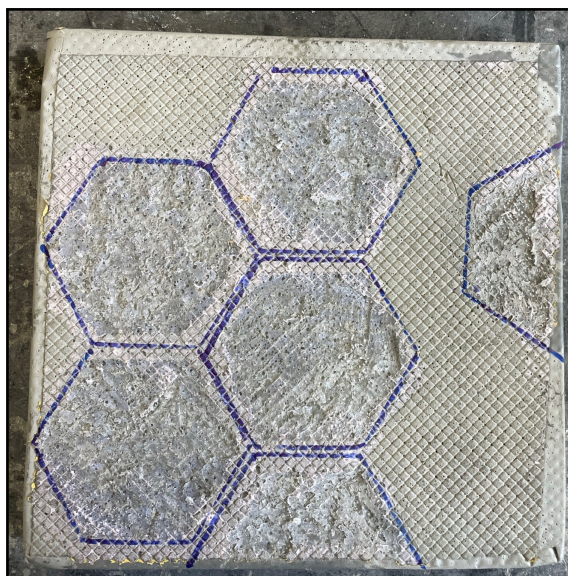


Obrázek 80: Rozlomené trámečky směsí BS3.1-BS3.3

Desky z průsvitného betonu byly odbedňovány po 7 dnech od betonáže (viz obr. č. 81). Lepicí hmota byla odstraněna z desky mechanicky za pomoci špachtle a kladiva kvůli značné ploše určené k odstranění. Následně byly rozřezány na jednotlivé výplně (viz obr. č. 82).

Tabulka 12: Složení betonové směsi pro výrobu prototypu výplně s optickými vlákny

Betonová směs			BS3
cement	CEM I 42,5 Radotín		650
voda			230
kamenivo	Čedič, frakce 0-2	[ kg/m <sup>3</sup> ]	1400
silika			80
superplastifikátor	STACHEMENT 787		15
vodní součinitel	v/c	[-]	0,35



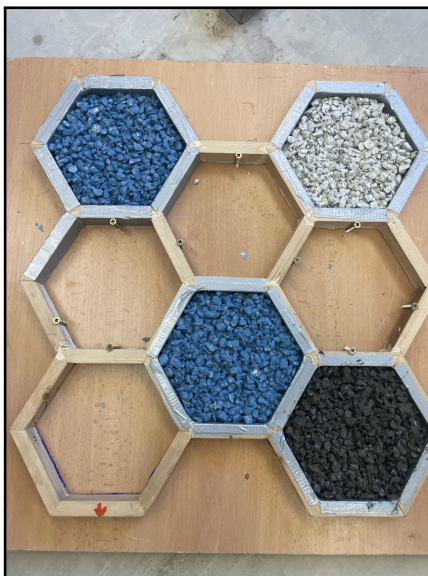
Obrázek 81: Odbedněná deska z průsvitného betonu s rozkreslením výplní pro následné nařezání



Obrázek 82: Výsledná výplň z průsvitného betonu po nařezání prosvícená denním světlem

## 9.4 Výroba akustických výplní do rámové konstrukce

Pro výrobu akustických výplní do rámové konstrukce byla tomuto projektu propůjčena receptura akustického mezerovitého betonu od pana doc. Bílého. První betonáž probíhala do upraveného dřevěného modelu. Při betonáži byla receptura upravena pro možnost přidání pigmentů do čerstvého betonu, a to za pomoci výměny obvyklého šedého cementu za bílý. Tato změna však měla dopad na výsledný betonový prvek, který se díky provedeným změnám rozpadal (viz obr. č. 84).



Obrázek 83: Betonáž akustického mezerovitého betonu do dřevěné formy/modelu



Obrázek 84: Mezerovitý beton s pigmenty a jejich rozpad

Při druhé betonáži akustického betonu byl použit jen obvyklý šedý cement CEM I 42,5 R a namísto přidání pigmentu do směsi čerstvého betonu byl

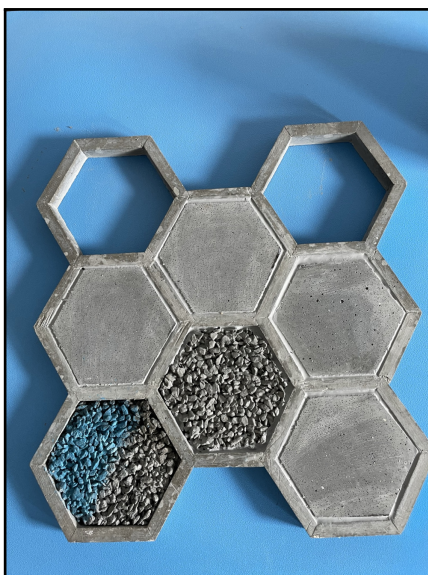
pigment pouze jemně poprášen po povrchu ještě před zatuhnutím (viz obr. č. 85).



Obrázek 85: Mezerovitý beton s částí povrchu poprášným pigmentem

## 9.5 Sestavení prototypu

Prototyp byl sestaven tak, aby bylo možné poukázat na variabilitu osazení možných výplní. Vzhledem k nutnosti rozřezání desek průsvitného betonu při výrobě prototypu vznikly výplně o nepřesných velikostech. Tudíž při jejich osazování byla použita silikonová těsnící hmota pro jejich uchycení.

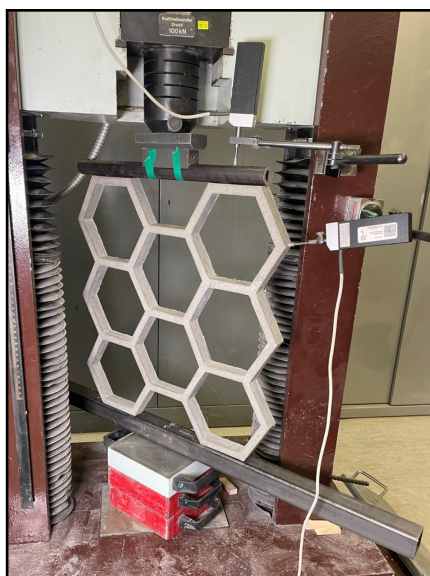


Obrázek 86: Sestavený prototyp kancelářské dělicí stěny

## 10 Zkouška zatěžování „semi-scale“ prototypů

Prvky PRK č. 2 byly po vyrobení prvku PRK č. 2.4 uloženy 28 dní ve stálém prostředí před počátkem zatěžovacích zkoušek. Pro tento prototyp byla vybrána tlaková zatěžovací zkouška pro posouzení únosnosti rámových rohů prvku.

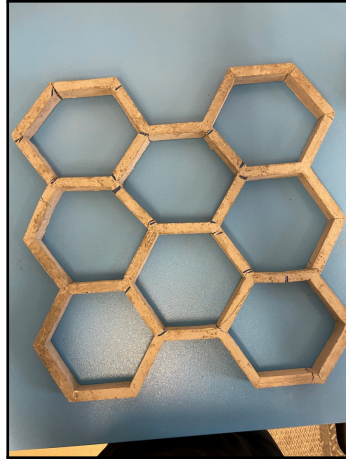
U zkoušky bylo nutné upravit zatěžovací schéma prvku vzhledem k používaným přístrojům a samotnému tvaru daného zatěžovaného prvku. Zatěžovací lis byl proto na pohyblivé části opatřen nástavcem pro liniové zatěžování pomocí tyčové kulatiny. Nepohyblivá část lisu byla taktéž upravena, a to tak, aby zatěžovaný prvek byl postaven rovně a na teoretické úrovni se dalo říci, že podpory konstrukce jsou liniové (viz obr. č. 87)



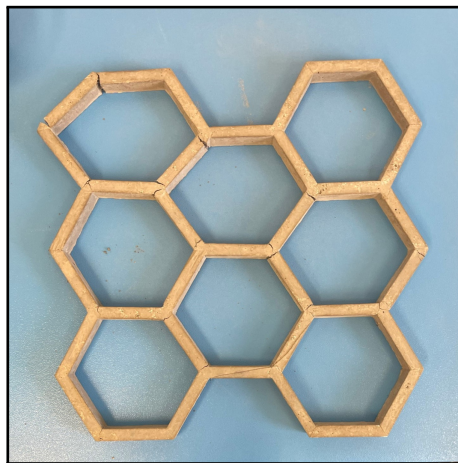
Obrázek 87: Sestava tlakové zatěžovací zkoušky prototypu PRK č. 2

Pro nastavení zatěžovací zkoušky byly nejdříve použity prvky P1.20 (viz kap. 7.1) a poškozený prvek PRK č. 2.2 (viz kap. 9.1). Na zatěžovaný prvek byla připevněna čidla pohybu pro zjištění chování předpokládaného místa porušení. Právě testovací vzorky napomohly určit umístění čidel na zatěžovaných prvcích. Čidlo č. 1 bylo umístěno na rámový roh horního pravého hexagonu ve vodorovné poloze. Toto místo a místo jemu symetrické bylo stanoveno jako nejslabší část rámové konstrukce pro její nemožnost opření do opěr. Čidlo č. 2 bylo umístěno na pravý konec spojení roznášecí tyče a prvku.

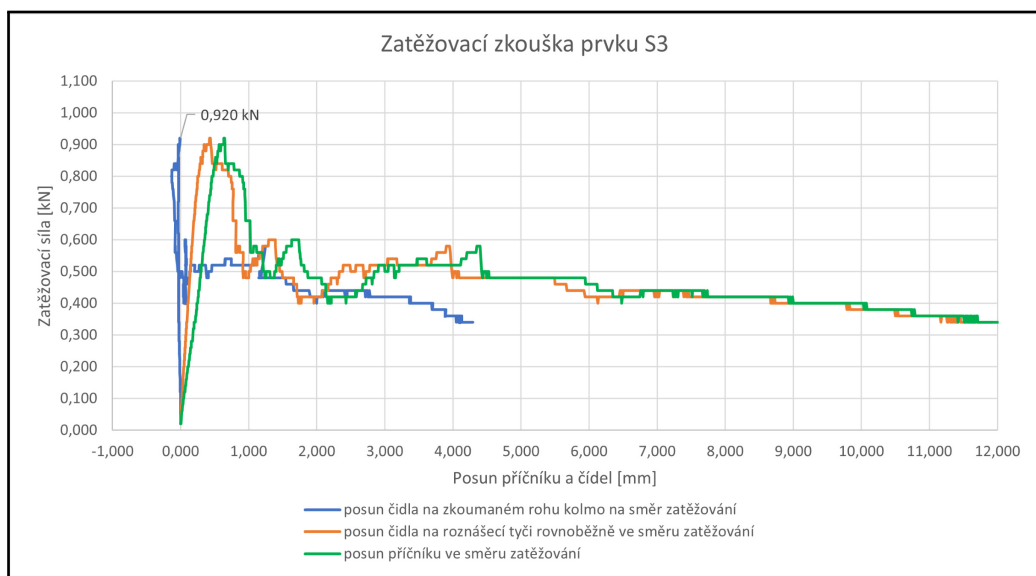
Odhad místa největšího poškození byl sice správný pro rámový roh horního hexagonu, avšak navzdory umístění druhého čidla bylo největší poškození prvků vždy na opačné straně od něj (viz obr. č. 88 a 89). Přestože jsme neměli naměřený posun nejhoršího místa poškození, byly číselné hodnoty zatěžovací síly a posunů po úpravě graficky vyhodnoceny (viz obr. č. 90 a 91). Grafy byly upraveny tak, aby počáteční sedání od dosednutí lisu mohlo být zanedbáno.



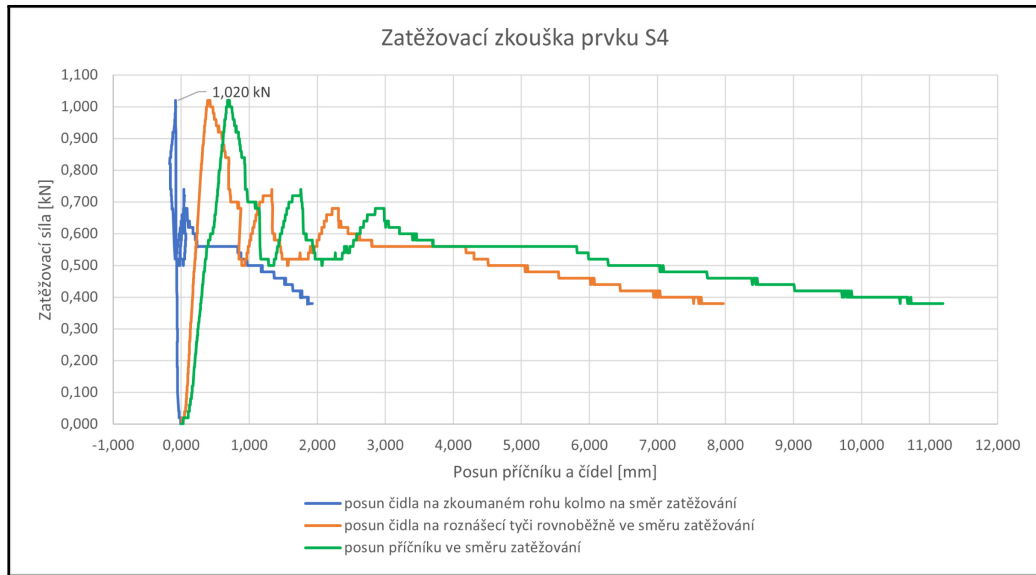
Obrázek 88: Poškození prvku PRK č. 2.3 po zatěžování při zkoušce pevnosti v tlaku



Obrázek 89: Poškození prvku PRK č. 2.4 po zatěžování při zkoušce pevnosti v tlaku



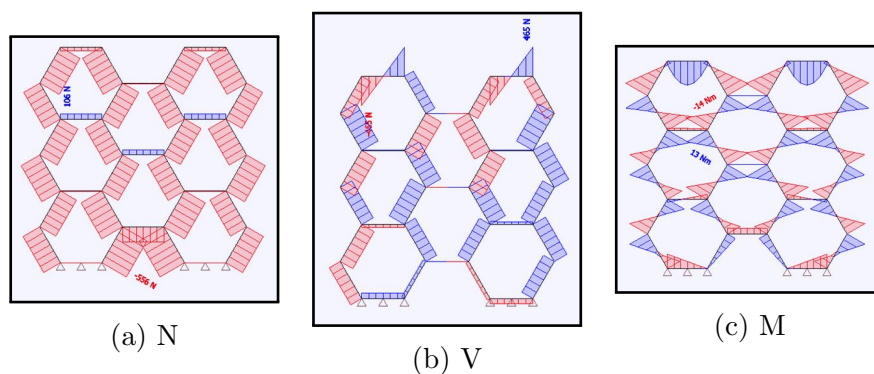
Obrázek 90: Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku prvku PRK č. 2.3



Obrázek 91: Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku prvku PRK č. 2.4

## 11 Vyhodnocení

Zatěžovací zkouška byla provedena pro zjištění reálné polohy průřezu s největším poškozením a pro zjištění jejího maximálního možného zatížení. Původní odhad polohy průřezu s maximálním poškozením se ukázal jako správný, jelikož byl zkouškou potvrzen. Pro validaci modelu byla následně určena maximální zatěžovací síla na hodnotu 0,92 kN. Touto silou byl následně výpočetní SCIA model zatížen (viz obr. č. 92). Vzhledem k poloze maximální posouvající síly, lze říci, že prvek byl porušen smykem. Pro potvrzení této úvahy byly vnitřní síly zadány do výpočetního programu FINE Beton a byla tak zjištěna míra využití právě řezu s největší posouvající silou, které bylo stanoveno na 127 % (viz příloha č. 3). Dále byla iteračně zjištěna hodnota zatěžovací síly 700 kN, při které bylo využití průřezu pod 100%, respektive využití průřezu bylo na 96 % (viz příloha č. 4).



Obrázek 92: Vnitřní síly na hexagonovém výpočetním modelu od maximální síly ze zatěžovací zkoušky

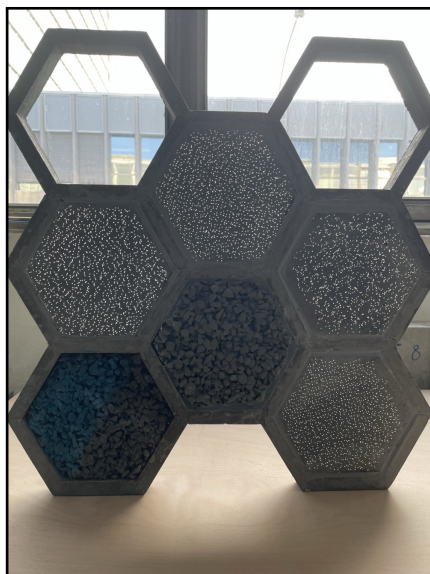
Tabulka 13: Porovnání zatížení a využití na zmíněném řezu

bodová síla [ N ]	posuvná vnitřní síla [ N ]	procento využití řezu [ % ]
1000	505	141
920	465	127,5
700	350	96

Na obrázku č. 93 lze vidět sestavený výrobek prosvícený denním světlem. Díky průsvitnému betonu bylo dosaženo možnosti přenést denní světlo z ozařované strany prvku na neozařovanou stranu. Na obrázku si lze povšimnout, že procento průchodu světla je omezené a závisí na počtu a ploše ozařovaných optických vláken. Volné horní dva segmenty nebyly osazeny výplněmi pro ilustraci možnosti využití jednotlivých segmentů i jako kancelářského nábytku, specificky poliček.

Výroba průsvitného betonu byla technicky značně náročná. Proto bude nutné pro výrobu konvenčního výrobku zautomatizovat jeho výrobu. Strojová výroba taktéž pomůže jednotnosti směru uchycení optických vláken, tudíž bude větší pravděpodobnost pravidelného rozmístění optických vláken.





Obrázek 93: Sestavený výrobek prosvícený denním světlem

Z prototypu je patrné, že právě nerovnoměrnost osazení optických vláken je ve výrobku znatelná.

Ze zatěžovací zkoušky samotné rámové konstrukce lze vydedukovat, že je možné přenést maximálně 0,7 kN vnějšího zatížení. Toto zatížení však obsahuje tíhu napojených segmentů tvořících kancelářskou stěnu, jejich výplní, a dalších přídatných prvků. Je nutné však podotknout, že únosnost je úměrná rozměru výrobku. Tudíž při použití odlišného průřezu bude i únosnost rozdílná. Dále je důležité, aby konstrukce odolala bočnímu zatížení od běžného užívání.

## 12 Závěr

Cílem práce bylo vypracování koncepce prefabrikované dělicí stěny se zaměřením na její optické a akustické parametry. S tím také souviselo vyrobení funkčního prototypu segmentu dělicí stěny a experimentální zkoumání vlastností celé konstrukce či jejích částí.

Práce je tak rozdělena do dvou částí na část teoretickou a část experimentální. Teoretická část je věnována vědomostem souvisejícím s optikou, akustikou a dělicími konstrukcemi, kde jsou nabitě informace následně použity pro vypracování koncepce v experimentální části.

Koncepce prefabrikované kancelářské dělicí stěny se zdá být proveditelná, avšak má stále spoustu neznámých veličin. Bylo zjištěno, že je možné vyrobit prvek s vyměnitelnými prvky, které pak mohou změnit celkový charakter konstrukce. V rámci této práce tak vznikla konstrukce kancelářské dělicí stěny se zabudovanými výplněmi z průsvitného a mezerovitého betonu.

Po řadě neúspěchů při výrobě prototypu byla nakonec snaha oceněna výrobkem, který má potenciál využití na trhu. Avšak pro uskutečnění uvedení výrobku na trh je nutné dalšího zkoumání. Zkoumanými tématy by následně měla být napojení jednotlivých segmentů na sebe, ukotvení celé konstrukce k okolním nosným konstrukcím, zajištění stability konstrukce, či zajištění smykové únosnosti rámové konstrukce.

## Seznam literatury

### Normy

- [1] ČSN EN 12390-5. *Zkoušení ztvrdlého betonu: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. 1. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [2] ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdlého betonu: Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. 1. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [3] ČSN EN 1015-3. *Zkušební metody malt pro zdivo: Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím strásacího stolku)*. Březen 2000. Praha: Český normalizační institut, Praha, 2000.
- [4] ČSN EN 1023-1. *Kancelářský nábytek - Dělicí příčky: Část 1: Rozměry*. Praha: Český normalizační institut, Praha, 1998.
- [5] ČSN EN 1023-2. *Kancelářský nábytek - Dělicí příčky: Část 2: Mechanické bezpečnostní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, Praha, 2001.
- [6] ČSN EN 1023-3. *Kancelářský nábytek - Dělicí příčky: Část 3: Zkušební metody*. Praha: Český normalizační institut, Praha, 2001.
- [7] ČSN EN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov: Část 2: Požadavky*. 2. Praha: Český normalizační institut, Praha, 2011.
- [8] ČSN EN 73 0532. *Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních konstrukcí a výrobků: Požadavky*. Praha: Český normalizační institut, Praha, 2020.
- [9] ČSN EN 13501-2. *Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb: Část 2: Klasifikace podle výsledků zkoušek požární odolnosti kromě vzduchotechnických zařízení*. Praha: Český normalizační institut, Praha, 2016.
- [10] ČSN EN ISO 17624. *Akustika - Směrnice pro snižování hluku akustickými clonami v kancelářích a provozovnách*. Praha: Český normalizační institut, Praha, 2005.

### Knihy, skripta, prezentace a odborné články

- [11] MODRÝ, S. *Vyloučení alkalické reakce kameniva v betonu na stavbách pozemních komunikací: Etapa a) Rešeršní průzkum alkalické reakce s vyhodnocením*. Kloknerův ústav ČVUT, 2003.
- [12] MAREŠ, Jaroslav. *Příčky v pozemních stavbách*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971.
- [13] HÁJEK, Václav a Jaroslav PAVLIS. *Příčky*. 1. vyd. vyd. Praha: Nakladatelství techn. lit, 1987.

- [14] <https://docplayer.cz/23349677-Lehke-betony-a-malty.html>
- [15] KASALOVÁ, Kateřina. *Fyzikální vlastnosti průsvitného betonu*. Praha, 2021. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Radek Štefan, Ph.D.

## Webové stránky

- [16] Blum: hanging lamp. In: *MOHAWORKS* [online]. Hungary, 2023 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.mohaworks.com/products/blump-hanging-lamp>
- [17] Alkalicko křemičitá reakce – ASR. *EBETON* [online]. Praha, c2021 [cit. 2021-12-17]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/alkalicko-kremicita-reakce-asr/>
- [18] pevnos betonu v tahu za ohybu - zkouška - ebeton
- [19] SAWANT, A. D., R. V. JUGDAR a S. G. SAWANT. Light Transmitting Concrete by using Optical Fiber. *International Journal of Inventive Engineering and Sciences*. Raipur, December 2014, 2014(1), 23-26. ISSN 2319-9598.
- [20] OPTICAL FIBER. *Newport* [online]. Praha: MIT, c2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.newport.com/t/fiber-optic-basics>
- [21] LOSONCZI, Aron. *Building block comprising light transmitting fibres and a method for producing the same*. United States. US 8091315 B2. Uděleno Jan. 10, 2012. Zapsáno May 16, 2003.
- [22] SHARMA, Sandeep a O.P. REDDY. TRANSPARENT CONCRETE. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY*. Jaipur: ENDNOTE, 2017, 2017(3), 305-308. ISSN 2277-9655. Dostupné z: doi:10.5281/zenodo.400947
- [23] LAMPTON, Jason. *DEVELOPMENT OF LIGHT TRANSMITTING MORTAR*. Texas, USA, 2017. Diplomová práce. M.S., University of Colorado. Vedoucí práce Frederick Rutz. Dostupné z: [http://digital.auraria.edu/content/AA/00/00/65/99/00001/Lampton\\_ucdenver\\_0765N\\_10983.pdf](http://digital.auraria.edu/content/AA/00/00/65/99/00001/Lampton_ucdenver_0765N_10983.pdf)
- [24] MOMIN, A.A., R.B. KADIRANAİKAR, Vakeel.S. JAGIRDAR a Arshad Ahemed INAMDAR. Study on Light Transmittance of Concrete Using Optical Fibers and Glass Rods. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. Bijapur Karnataka, India, 2014, 2014, 2014(1), 67-72. ISSN 2278-1684.
- [25] KIM, Byoungil. Light Transmitting Lightweight Concrete with Transparent Plastic Bar. *The Open Civil Engineering Journal* [online]. 2017, 11(1), 615-626 [cit. 2021-04-06]. DOI:

10.2174/1874149501711010615. ISSN 1874-1495. Dostupné z: <https://opencivilengineeringjournal.com/VOLUME/11/PAGE/615/>

- [26] Optical Fibres in the Modeling of Translucent Concrete Blocks. *International Journal of Engineering Research and Applications* [online]. INDIA.: IJERA, 2013, Jun 2013, 2013(3), 13-17 [cit. 2021-5-10]. ISSN 2248-9622. Dostupné z: [https://www.ijera.com/papers/Vol13\\_issue3/D33013017.pdf](https://www.ijera.com/papers/Vol13_issue3/D33013017.pdf)
- [27] PATHADE, Abhishek a Karthik NAIR. LIGHT TRANSMITTING CONCRETE. *International Research Journal of Engineering and Technology*. Maharashtra, India: IRJET, 2016, Mar 2016, 2016(03), 1852-1854. ISSN 2395 -0056.
- [28] KUMAR, Awadhesh a Rahul AHLAWAT. Experimental Study on Light Transmitting Concrete. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*. Delhi, India: IJISSET, 2017, 4(6), 201-210. ISSN 2348 – 7968. Dostupné také z: [http://ijiset.com/vol14/v4s6/IJISSET\\_V4\\_I06\\_25.pdf](http://ijiset.com/vol14/v4s6/IJISSET_V4_I06_25.pdf)
- [29] Litracon Classic. *Litracon* [online]. Maďarsko: Litracon, c2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <http://www.litracon.hu/en/products/litracon-blokk>
- [30] FAJFROVÁ, Zuzana. LiCreate® - kombinace nadčasovosti a efektivitivy. *STAVEBNICTVÍ 3000: věrohodný pohled na stavební materiály* [online]. Hradec Králové: VEGA, c2021, 9. 2. 2015 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/licrete-kombinace-nadcasovosti-a-efektivitivy>
- [31] Transparent panel - i.light. *Bimobject* [online]. Sweden: BIMObject®, c2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: [https://www.bimobject.com/en/heidelbergcement-hispania/product/i-light\\_shanghai](https://www.bimobject.com/en/heidelbergcement-hispania/product/i-light_shanghai)
- [32] JUAN, Shen; ZHI, Zhou. Preparation and study of resin translucent concrete products. *Advances in Civil Engineering*, 2019, 2019. Dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/ace/2019/8196967/>
- [33] GAWATRE, Dinesh W.; GIRI, Suraj D.; BANDE, Bhagwat B. Transparent concrete as an eco-friendly material for building. *International Journal of Engineering Science Invention*, 2016, 5.3: 55-62.
- [34] LI, Yue, Jiaqi LI, Yuhong WAN a Zhiyuan XU. Experimental study of light transmitting cement-based material (LTCM). *Construction and Building Materials* [online]. 2015, 96, 319-325 [cit. 2021-03-21]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.055. ISSN 09500618. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815302786>
- [35] PAGLIOLICO, Simonetta L., et al. A preliminary study on light transmittance properties of translucent concrete panels with coarse

- waste glass inclusions. *Energy procedia*, 2015, 78: 1811-1816. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215020494>
- [36] Akustické panely. In: *E-Beton* [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/akusticke-panely/>
- [37] Stavební akustika (TP 1.8.3). In: *Profesní informační systém ČKAIT* [online]. Praha: ČKAIT, 2023, 2019 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/tp-1-8-3/#15>
- [38] Keramzit - detail. In: *Keramzit* [online]. 2008 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.keramzit.cz>
- [39] Hala Kongresového centra Zlín: detail panelu. In: *Polycon* [online]. Praha [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://polycon.info/wp-content/uploads/2017/07/detail-panelu.jpg>
- [40] Hala Kongresového centra Zlín: detail panelu stropu. In: *Polycon* [online]. Praha [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: [https://polycon.info/wp-content/uploads/2017/07/IMG\\_0818.jpg](https://polycon.info/wp-content/uploads/2017/07/IMG_0818.jpg)
- [41] Lehký beton. In: *E-Beton* [online]. Praha, 2023 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/lehky-beton/>
- [42] SOUND TRANSMISSION CLASS RATINGS FOR CONCRETE MASONRY WALLS. In: *National concrete masonry association* [online]. Vancouver, 2012 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://ncma.org/resource/sound-transmission-class-ratings-for-concrete-masonry-walls/>
- [43] Make a Silicone Mold For a Cement Planter: From an Object. In: *Artsy pretty plants* [online]. 2023, 2012 [cit. 2023-01-08]. Dostupné z: <https://artsyprettyplants.com/make-silicone-mold-for-textured-cement-planter/>

## Seznam obrázků

1	Závěsná betonová lampa, [16] . . . . .	9
2	Dělení kancelářské stěny dle možnosti očního kontaktu, [4] . . .	13
3	Zatěžovací schéma pro zatěžovací zkoušku horizontální silou, [6]	14
4	Skladba optického vlákna, [20] . . . . .	16
5	Postup výroby bloků <i>LiTraConu</i> , [21] . . . . .	17
6	Ukázka možného výpletu dřevěné formy, [15] . . . . .	18
7	Postup výroby průsvitného betonu pomocí protahovací metody, [23] . . . . .	18
8	Porovnání prvků průsvitného betonu s optickými vlákny dle jednotlivých metod . . . . .	19
9	Průsvitný beton s prvky z polymeru, [31] . . . . .	20
10	Průsvitný beton se skleněnými panely, [35] . . . . .	21
11	Ukázka keramzitu, [38] . . . . .	23
12	Akustický sklovláknitý betonový obklad stěny, [39] . . . . .	23
13	Akustický sklovláknitý betonový obklad stropu, [40] . . . . .	24
14	Schéma sestav zkoušky pevnosti v tahu ohybem . . . . .	25
15	Průběh vnitřních sil ve zkoušeném tělese při zkoušce pevnosti v tahu ohybem, [1] . . . . .	26
16	Vyhovující tvary porušení krychle při tlakové zkoušce [2] . . .	26
17	Nevyhovující tvary porušení krychle při tlakové zkoušce [2] . .	27
18	Modely uvažovaných segmentů . . . . .	28
19	Modely zkoumaných tvarů ve 3D . . . . .	29
20	Zatížení modelů jednotkovou silou přepočtenou na liniové zatížení	30
21	Vnitřní síly na trojúhelníkovém modelu zatíženém jednotkovou silou . . . . .	30
22	Vnitřní síly na čtvercovém modelu zatíženém jednotkovou silou	30
23	Vnitřní síly na hexagonovém modelu zatíženém jednotkovou silou	31
24	Vyfrézovaná XPS deska jako forma pro vzorky pokusu č. 1 . . .	33
25	Čerstvá betonová směs č.BS1 pro vzorky pokusu č. 1 . . . . .	33
26	Čerstvě vylité vzorky pokusu č. 1 . . . . .	34
27	Vzorek P1.10 po odbednění . . . . .	35
28	Vzorek P1.20 po odbednění . . . . .	35
29	Připravená dřevěná rozebíratelná forma pro pokus č. 2 . . . . .	36
30	Čerstvě vylitý vzorek pokusu č. 2 . . . . .	36
31	Vzorek P2.10 po odbednění . . . . .	37
32	Rozsah trhlin ve vzorku P2.10 . . . . .	37
33	Použitá forma „trojče“ pro betonáž pokusu č. 3 . . . . .	39
34	Navážený materiál pro betonáž pokusu č. 3 . . . . .	40
35	Čerstvý beton směsi BS2-MDJ . . . . .	40
36	Čerstvý beton směsi BS2-MDH . . . . .	40
37	Čerstvý beton směsi BS2-MJ . . . . .	41
38	Čerstvý beton směsi BS2-MH . . . . .	41
39	Vybetonované trámečky směsmi BS2-MDJ a BS2-MDH . . . . .	41
40	Vybetonované trámečky směsmi BS2-MJ a BS2-MH . . . . .	42
41	Trámeček z betonové směsi BS2-MDJ . . . . .	42

42	Trámeček z betonové směsi BS2-MDH . . . . .	42
43	Trámeček z betonové směsi BS2-MJ . . . . .	43
44	Trámeček z betonové směsi BS2-MH . . . . .	43
45	Rozlití směsi BS2-MDJ . . . . .	44
46	Rozlití směsi BS2-MDH . . . . .	44
47	Rozlití směsi BS2-MJ . . . . .	44
48	Rozlití směsi BS2-MH . . . . .	44
49	Zatěžovací soustava zkoušky pevnosti v tahu ohybem . . . . .	46
50	Výsledné rozlomení trámečků směsi BS2-MDJ a BS2-MDH po zkoušce pevnosti v tahu ohybem . . . . .	47
51	Výsledné rozlomení trámečků směsi BS2-MDJ a BS2-MDH po zkoušce pevnosti v tahu ohybem . . . . .	47
52	Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tahu ohybem směsí BS2-MDJ . . . . .	48
53	Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tahu ohybem směsí BS2-MDH . . . . .	49
54	Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tahu ohybem směsí BS2-MJ . . . . .	49
55	Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tahu ohybem směsí BS2-MH . . . . .	50
56	Graf porovnávající pracovní diagramy zkoušek pevnosti v tahu ohybem jednotlivých směsí . . . . .	50
57	Ilustrativní vyobrazení uspořádání zkoušky pevnosti betonu v tlaku . . . . .	51
58	Výsledné rozdrcení kvádrů směsi BS2-MDJ a BS2-MDH po zkoušce pevnosti v tlaku . . . . .	52
59	Výsledné rozdrcení kvádrů kontrolních směsí BS2-MJ a BS2-MH po zkoušce pevnosti v tlaku . . . . .	52
60	Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku směsí BS2-MDJ . . . . .	53
61	Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku směsí BS2-MDH . . . . .	54
62	Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku směsí BS2-MJ . . . . .	54
63	Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku směsí BS2-MH . . . . .	55
64	Graf porovnávající pracovní diagramy zkoušek pevnosti v tlaku . . . . .	55
65	Připravená dřevěná forma k betonáži prototypu č. 1 . . . . .	57
66	Vybetonovaná dřevěná forma prototypu č. 1 . . . . .	58
67	Prototyp rámové konstrukce č. 1 ve vzpřímené poloze bez vnějšího zatížení . . . . .	58
68	Rozsah poškození prvku PRK č. 1 . . . . .	59
69	Připravená dřevěná forma pro vylití silikonem . . . . .	60
70	Aktivace dvousložkového silikonu . . . . .	60
71	Proces vylévání formy na silikonovou formu pro prvek PRK č. 2 . . . . .	60
72	Forma vylitá silikonem . . . . .	61
73	Vzniklá silikonová forma . . . . .	61
74	Vybetonovaný prvek PRK č. 2.1 . . . . .	61
75	Přiblížený záběr prvku PRK č. 2.1 na povrch z betonované strany . . . . .	62
76	Výstavní prvek PRK č. 2.1 . . . . .	62
77	Připravená deska XPS se zapíchanými optickými vlákny . . . . .	63
78	Forma „trojčata“ vybetonována betonem s optickými vlákny . . . . .	64



79	Betonové trámečky vzorků výplní s optickými vlákny prosvícené denním světlem . . . . .	65
80	Rozlomené trámečky směsí BS3.1-BS3.3 . . . . .	65
81	Odbedněná deska z průsvitného betonu s rozkreslením výplní pro následné nařezání . . . . .	66
82	Výsledná výplň z průsvitného betonu po nařezání prosvícená denním světlem . . . . .	66
83	Betonáž akustického mezerovitého betonu do dřevěné formy/modelu	67
84	Mezerovitý beton s pigmenty a jejich rozpad . . . . .	67
85	Mezerovitý beton s částí povrchu poprášeným pigmentem . . .	68
86	Sestavený prototyp kancelářské dělicí stěny . . . . .	68
87	Sestava tlakové zatěžovací zkoušky prototypu PRK č. 2 . . . .	69
88	Poškození prvku PRK č. 2.3 po zatěžování při zkoušce pevnosti v tlaku . . . . .	70
89	Poškození prvku PRK č. 2.4 po zatěžování při zkoušce pevnosti v tlaku . . . . .	70
90	Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku prvku PRK č. 2.3	70
91	Pracovní diagram zkoušky pevnosti v tlaku prvku PRK č. 2.4	71
92	Vnitřní síly na hexagonovém výpočetním modelu od maximální síly ze zatěžovací zkoušky . . . . .	72
93	Sestavený výrobek prosvícený denním světlem . . . . .	73

## Seznam tabulek

1	Maximální vnitřní síly na modelech od jednotkového zatížení .	31
2	Složení betonové směsi pro pokus č. 1 . . . . .	32
3	Složení betonové směsi BS2-MDJ . . . . .	38
4	Složení betonové směsi BS2-MDH . . . . .	38
5	Složení kontrolní betonové směsi BS2-MJ . . . . .	38
6	Složení kontrolní betonové směsi BS2-MH . . . . .	39
7	Výsledky zkoušky rozlitím betonových směsí . . . . .	45
8	Pevnost v tahu ohybem jednotlivých směsí . . . . .	48
9	Pevnost v tlaku jednotlivých směsí . . . . .	53
10	Vyhodnocení zkoušených betonových směsí . . . . .	56
11	Návrh složení betonové směsi pro výrobu prototypu výplně s optickými vlákny . . . . .	64
12	Složení betonové směsi pro výrobu prototypu výplně s optickými vlákny . . . . .	66
13	Porovnání zatížení a využití na zmíněném řezu . . . . .	72

## Seznam příloh

- Příloha 1 Protokol zkoušky ztvrdlého betonu v tahu za ohybu
- Příloha 2 Protokol zkoušky ztvrdlého betonu v tlaku
- Příloha 3 Ověření využití řezu s maximální posuvnou silou
- Příloha 4 Ověření využití řezu s maximální posuvnou silou

## Seznam použitých výpočetních programů

AutoCad	verze 2022
SCIA Engineer	verze 22.0.0019.64
FINE EC - Beton	verze 11.2.28.0



## ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Thákuřova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel.: 224 354 627, fax: 224 354 446, email: k133@fsv.cvut.cz

ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



### Zpráva o zkoušce

Zákazník :

Akce :

ze dne: 16.02.22

Číslo protokolu : RO\_Kasalova\_16.02.2022/2022

Pořadové číslo :

Poznámka :

### Výsledky laboratorních zkoušek

Ozn. tělesa	Číslo vzorku	Rozměry tělesa			Hmot. tělesa g	Objem. hmot. kg/m <sup>3</sup>	Datum		Stáří vzorku dny	Tah za ohybu		Průměr pevnost Mpa	Směrodatná odchylka	variální koeficient	Poznámka
		Délka mm	Šířka mm	Výška mm			výroby d.m.r.	zkoušky d.m.r.		max síla kN	pevnost Mpa				
MJ	1	39,39	39,78	160,0	591,5	2359	21.11.2021	16.02.2022	79	4,96	11,9	11,88	0,4	3,65%	<p>           1 - střední část (základní osová rovina)            2 - horní část (základní osová rovina)            3 - spodní část (základní osová rovina)         </p>
MJ	2	40,0	39,9	160,0	609,8	2390	21.11.2021	16.02.2022	79	5,24	12,4				
MJ	3	38,1	39,8	160,0	575,7	2371	21.11.2021	16.02.2022	79	4,56	11,3				
MH	1	39,5	39,8	160,0	618,9	2460	21.11.2021	16.02.2022	79	4,36	10,5				
MH	2	38,2	39,9	160,0	600,6	2463	21.11.2021	16.02.2022	79	4,10	10,1	10,29	0,1	1,26%	
MH	3	39,2	39,9	160,0	613,8	2452	21.11.2021	16.02.2022	79	4,28	10,3				
MDJ	1	39,7	39,8	160,0	602,5	2379	21.11.2021	16.02.2022	79	4,54	10,8				
MDJ	2	38,9	40,0	160,0	592,6	2380	21.11.2021	16.02.2022	79	4,66	11,2	11,32	0,5	3,98%	
MDJ	3	40,4	40,0	160,0	619,8	2399	21.11.2021	16.02.2022	79	5,12	11,9				
MDH	1	39,0	39,8	160,0	618,3	2488	21.11.2021	16.02.2022	79	4,47	10,8				
MDH	2	38,8	39,9	160,0	612,6	2472	21.11.2021	16.02.2022	79	4,52	11,0	11,29	0,5	4,75%	
MDH	3	39,3	39,9	160,0	618,0	2464	21.11.2021	16.02.2022	79	0,01	12,0				Tříbodová zkouška

Typ zkoušky

Druh vzorku : Tah za ohybu 3B

Teplota : Trámec 40x40x160

Relativní vlhkost : 22 °C

Poznámka: : 0%

Průběh zkoušky odpovídal normě ČSN EN 12390 - 5. Zkušební tělesa nebyla nijak opracována. Bylo použito jedno zatěžovací břemeno uprostřed tělesa. Místo zlomu bylo vždy v očekávané poloze pod zatěžovacím břemenem.

Zkoušel

Vypracoval

Vedoucí laboratoře

Kontroloval

: Ing. Roman Chylík

: Bc. Kateřina Kasalová

: doc. Ing. Josef Fládr, Ph.D.

: doc. Ing. Josef Fládr, Ph.D.

Podpis :

Podpis :

Podpis :

Podpis :



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel.: 224 354 627, fax: 224 354 446, email: k133@fsv.cvut.cz

ODBORNÁ LABORATOR KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ



## Zpráva o zkoušce

Zákazník :

Ákce :

ze dne: 23.02.22

Číslo protokolu : TT Kasalkat2 23.2.2022\_2022

Pořadované číslo :

Poznámka :

### Výsledky laboratorních zkoušek

Ozn. tělesa	Číslo vzorku	Rozměry tělesa			Hmot. tělesa g	Objem. hmot. kg/m <sup>3</sup>	Datum		Stáří vzorku dny	Tah za ohybu		Průměr pevnost Mpa	Směrodatná odchylka	variální koeficient	Poznámka
		Délka mm	Šířka mm	Výška mm			výroby d.m.r.	zkoušky d.m.r.		max.síla kN	pevnost Mpa				
MJ	1	39,39	40,00	80,0	295,8	2346	21.11.2021	16.02.2022	79	197,79	125,5				
MJ	2	40,0	40,0	80,0	304,9	2382	21.11.2021	16.02.2022	79	209,71	131,1				
MJ	3	38,1	40,0	80,0	287,9	2360	21.11.2021	16.02.2022	79	195,87	128,5	124,4	5,7	4,58%	
MJ	4	39,39	40,00	80,0	295,8	2346	21.11.2021	16.02.2022	79	181,98	115,5				
MJ	5	40,0	40,0	80,0	304,9	2382	21.11.2021	16.02.2022	79	204,75	128,0				
MJ	6	38,1	40,0	80,0	287,9	2360	21.11.2021	16.02.2022	79	179,98	118,1				
MH	1	39,5	40,00	80,0	309,4	2448	21.11.2021	16.02.2022	79	203,60	128,9				
MH	2	38,2	40,0	80,0	300,3	2455	21.11.2021	16.02.2022	79	204,06	133,4				
MH	3	39,2	40,0	80,0	306,9	2445	21.11.2021	16.02.2022	79	206,52	131,6	126,2	6,5	5,18%	
MH	4	39,5	40,00	80,0	309,4	2448	21.11.2021	16.02.2022	79	191,10	120,9				
MH	5	38,2	40,0	80,0	300,3	2455	21.11.2021	16.02.2022	79	195,21	127,7				
MH	6	39,2	40,0	80,0	306,9	2445	21.11.2021	16.02.2022	79	179,64	114,5				
MJD	1	39,7	40,00	80,0	301,2	2369	21.11.2021	16.02.2022	79	194,79	122,5				
MJD	2	38,9	40,0	80,0	296,3	2378	21.11.2021	16.02.2022	79	179,83	115,5				
MJD	3	40,4	40,0	80,0	309,9	2396	21.11.2021	16.02.2022	79	147,41	91,2				
MJD	4	39,7	40,00	80,0	301,2	2369	21.11.2021	16.02.2022	79	164,87	103,7	100,9	14,3	14,20%	
MJD	5	38,9	40,0	80,0	296,3	2378	21.11.2021	16.02.2022	79	129,99	89,5				
MJD	6	40,4	40,0	80,0	309,9	2396	21.11.2021	16.02.2022	79	143,68	88,9				
MDH	1	39,0	40,00	80,0	309,1	2475	21.11.2021	16.02.2022	79	165,10	105,8				
MDH	2	38,8	40,0	80,0	306,3	2466	21.11.2021	16.02.2022	79	257,09	165,6				
MDH	3	39,3	40,0	80,0	309,0	2456	21.11.2021	16.02.2022	79	224,52	142,8				
MDH	4	39,0	40,00	80,0	309,1	2475	21.11.2021	16.02.2022	79	202,25	129,5	137,5	17,8	12,97%	
MDH	5	38,8	40,0	80,0	306,3	2466	21.11.2021	16.02.2022	79	217,94	140,4				
MDH	6	39,3	40,0	80,0	309,0	2456	21.11.2021	16.02.2022	79	221,44	140,8				

Typ zkoušky : Tlak

Druh vzorku : Zbytky z ohybu

Teplota : 22 °C

Relativní vlhkost : 38%

Zkoušel

Vypracoval

Vedoucí laboratoře

Kontroloval

Podpis :

Podpis :

Podpis :

Podpis :

: Ing. Tomáš Trtlik

: Bc. Kateřina Kasalová

: doc. Ing. Josef Fialdr, Ph.D.

: doc. Ing. Josef Fialdr, Ph.D.

Poznámka:

Průběh zkoušky odpovídal normě ČSN EN 12390 - 3. Zkušební tělesa použita ze zatěžovací zkoušky tah za ohybu.

# 1 Diplomová práce

## Součinitele výpočtu

Uvažovány dle normy EN 1992-1-1/Česko.

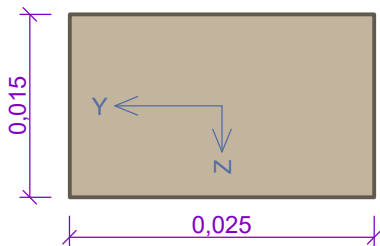
# 2 REZ S MAXIMÁLNÍ POSOUVAJÍCÍ SILOU

## 2.1 Vstupní data

Typ prvku: nosník

Prostředí: X0

### Průřez



### Materiály

**Beton : C 90/105**

$f_{ck} = 90,0$  MPa;  $f_{ctm} = 5,0$  MPa;  $E_{cm} = 44000,0$  MPa

**Ocel podélná : B500** ( $f_{yk} = 500,0$  MPa;  $E_s = 200000,0$  MPa)

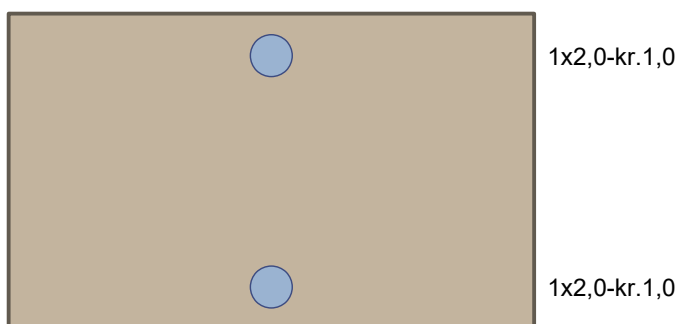
**Ocel příčná : B500** ( $f_{yk} = 500,0$  MPa;  $E_s = 200000,0$  MPa)

### Vnitřní síly - návrhová (MSÚ)

č.	Název zatěžovacího případu	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Edz}$ [kN]	$M_{Edy}$ [kNm]	QP koef. [-]
1	Zat. případ 1	-0,08	-0,47	0,00	1,000

### Vyztužení průřezu

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
1	2,0	1,0	horní výztuž
1	2,0	1,0	dolní výztuž



S tlačnou výztuží je počítáno.

### Smyková výztuž

Průřez bez smykové výztuže.

# 1 Diplomová práce

## Součinitele výpočtu

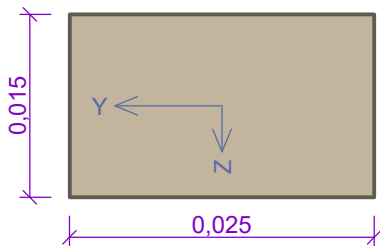
Uvažovány dle normy EN 1992-1-1/Česko.

# 2 REZ S MAXIMÁLNÍ POSOUVAJÍCÍ SILOU - Kopie

## 2.1 Vstupní data

Typ prvku: nosník  
Prostředí: X0

### Průřez



### Materiály

#### Beton : C 90/105

$f_{ck} = 90,0$  MPa;  $f_{ctm} = 5,0$  MPa;  $E_{cm} = 44000,0$  MPa

**Ocel podélná : B500** ( $f_{yk} = 500,0$  MPa;  $E_s = 200000,0$  MPa)

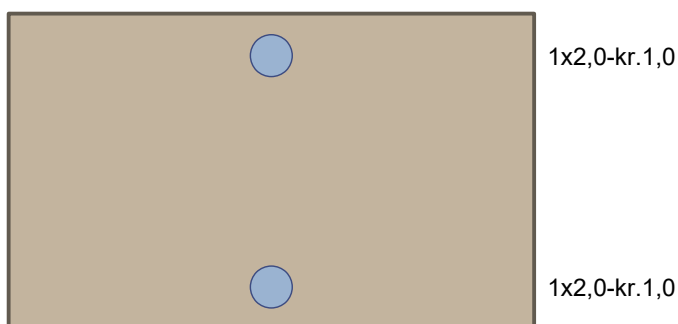
**Ocel příčná : B500** ( $f_{yk} = 500,0$  MPa;  $E_s = 200000,0$  MPa)

### Vnitřní síly - návrhová (MSÚ)

č.	Název zatěžovacího případu	$N_{Ed}$ [kN]	$V_{Edz}$ [kN]	$M_{Edy}$ [kNm]	QP koef. [-]
1	Zat. případ 1	-0,05	-0,35	0,00	1,000

### Vyztužení průřezu

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
1	2,0	1,0	horní výztuž
1	2,0	1,0	dolní výztuž



S tlačnou výztuží je počítáno.

### Smyková výztuž

Průřez bez smykové výztuže.