

# České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



## Bakalářská práce

Fyzikální vlastnosti průsvitného betonu

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

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

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

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Fyzikální vlastnosti průsvitného betonu

Název bakalářské práce anglicky: Physical properties of translucent concrete

Pokyny pro vypracování:

Teoretická část: rešerše problematiky, technologie výroby průsvitného betonu, vlastnosti průsvitného betonu.

Experimentální část: výroba zkušebních vzorků z vybraných typů průsvitného betonu, měření vybraných fyzikálních vlastností, vyhodnocení a diskuze

Závěr.

Seznam doporučené literatury:

Normy: ČSN EN 206+A1

Collepari, M., Moderní beton, 2009

Zielińska, M., Ciesielski, A. Analysis of Transparent Concrete as an Innovative Material Used in Civil Eng., 2017.

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Radek Štefan, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 15. 02. 2021 Termín odevzdání bakalářské práce: 16. 05. 2021

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 bakalářskou práci **samoštatně**, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské 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“*

24. 2. 2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## Prohlášení

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

V Praze dne:

Kateřina Kasalová

.....

.....

## **Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá tématem průsvitného betonu. Cílem práce je vypracování rešerše ze zahraničních prací a experimentální vyhodnocení vybrané fyzikální vlastnosti. Byla provedena zkouška průsvitnosti materiálu na 3 typech betonových směsí, které využívaly průsvitné prvky pro přenos světla materiálem. Použitými průsvitnými prvky byla optická vlákna, drcené zaoblené sklo a plastová vlákna. Vzorky betonu byly vyráběny s rozměry 200 x 200 mm o tloušťce 25 a 50 mm. Z naměřených hodnot bylo potvrzeno, že průsvitnost betonového tělesa při využití optických vláken jako světlo vodného prvku je vysoká. Průsvitnost betonu s použitím drceného skla či plastových vláken nebyla zaznamenána lidským okem.

## **Klíčová slova:**

Architektonické betony, průsvitný beton, optická vlákna, beton s plnivem ze skla, povrchové úpravy betonu, průsvitnost

## **Abstract:**

The bachelor thesis deals with the topic of translucent concrete. The aim of the work is to develop a search of foreign works and experimental evaluation of selected physical properties. A material transmittance test was performed. It was tested on 3 types of concrete mixtures, which used translucent elements for light transmission through the material. The translucent elements used were optical fibers, crushed rounded glass and plastic fibers. Concrete samples were produced with dimensions of 200 x 200 mm and with thickness of 25 and 50 mm. From the measured values, it was confirmed that the translucency of the concrete body is high when optical fibers are used as light-transmitting element. Human eye cannot see light transmitted through concrete body with crushed glass or plastic fibers.

## **Keywords:**

Architectural concrete, light transmitting concrete, fiber optics, concrete with glass filler, surface treatment of concrete, light transmittance

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Radkovi Štefanovi, Pd.D 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.

# Obsah

<b>1</b>	<b>CÍLE PRÁCE</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>ÚVOD</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>TEORETICKÁ ČÁST</b>	<b>10</b>
3.1	Průsvitný beton . . . . .	10
3.2	Historie průsvitného betonu . . . . .	10
3.3	Materiály vedoucí fotony . . . . .	11
3.3.1	Optická vlákna . . . . .	11
3.3.2	Sklo . . . . .	12
3.3.3	Polymery . . . . .	13
3.4	Technologie výroby . . . . .	13
3.4.1	Technologie výroby s využitím optických vláken . . . . .	14
3.4.2	Technologie výroby s využitím tkaných optických vláken . . . . .	16
3.4.3	Technologie výroby s využitím polymerů . . . . .	18
3.4.4	Technologie výroby s využitím skla . . . . .	19
3.4.5	Betonová směs . . . . .	20
3.4.6	Formy . . . . .	20
3.4.7	Odbednění . . . . .	22
3.4.8	Finální úpravy prvků . . . . .	22
3.5	Vlastnosti průsvitného betonu . . . . .	22
3.5.1	Pevnost betonu v tlaku . . . . .	22
3.5.2	Pevnost betonu v tahu za ohybu . . . . .	23
3.5.3	Objemová hmotnost . . . . .	23
3.5.4	Průsvitnost . . . . .	24
3.6	Evaluace průsvitného betonu . . . . .	24
3.6.1	Výhody . . . . .	24
3.6.2	Nevýhody . . . . .	25
3.7	Využitelnost průsvitného betonu . . . . .	25
3.8	Výrobky z průsvitného betonu . . . . .	25
3.8.1	Desky a panely s optickými vlákny . . . . .	25
3.8.2	Panely s polymery . . . . .	27
3.8.3	Izolační fasádní panely . . . . .	28
3.9	Budovy s prvky z průsvitného betonu . . . . .	28
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b>	<b>31</b>
4.1	Vstupní materiály . . . . .	31
4.1.1	Cement . . . . .	31
4.1.2	Kamenivo . . . . .	31
4.1.3	Ostatní plniva . . . . .	32
4.1.4	Optická vlákna . . . . .	33
4.1.5	Přísady . . . . .	33
4.1.6	Voda . . . . .	34
4.2	Připravené směsi . . . . .	34
4.2.1	Směs B1 - plastová vlákna . . . . .	34
4.2.2	Směs B2 - optická vlákna . . . . .	34

4.2.3	Směs B3 - drcené sklo . . . . .	35
4.2.4	Směs B4 - kombinace drceného skla a plastových vláken . . . . .	35
4.3	Experiment č. 1 - Prostup světla průsvitnou betonovou konstrukcí . . . . .	36
4.3.1	Použité směsi . . . . .	36
4.3.2	Příprava formy . . . . .	37
4.3.3	Postup připevnění optických vláken . . . . .	37
4.3.4	Proces betonáže . . . . .	38
4.3.5	Odbednění a příprava na zkoušení . . . . .	39
4.3.6	Zkouška průchodu světla materiálem . . . . .	40
4.3.7	Vyhodnocení zkoušky průchodu světla konstrukcí . . . . .	42
4.4	Experiment č. 2 - Zabudování světelných zdrojů do průsvitné betonové konstrukce . . . . .	43
4.4.1	Příprava formy . . . . .	43
4.4.2	Proces betonáže, odbednění, příprava a zkoušení . . . . .	44
4.4.3	Vyhodnocení svítivosti zabudovaných světelných zdrojů . . . . .	44
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR</b>	<b>46</b>
	<b>Seznam literatury</b>	<b>47</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>51</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>52</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>53</b>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

BC	Beton Crystal
COC	Cyklický olefinový kopolymer
CYTOP	Amorfní fluoropolymer
GOF	Skleněná optická vlákna
IT	Informační technologie
LED	Světlo emitující dioda
OV	Optická vlákna
PC	Polykarbonát
PMMA	Polymethylmethakrylá
t POF	Plastová optická vlákna
$\theta_a$	Úhel odrazu světla



# 1 CÍLE PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je představení průsvitného betonu a prohloubení poznatků o technologii jeho výroby. Za pomoci sestavené rešerše budou na vzorcích zkoumány fyzikální vlastnosti vybraných betonových směsí s různými průsvitnými prvky. Získané poznatky z této práce budou v budoucnu využity pro další výzkum zaměřený na technologii výroby monolitického průsvitného betonu a únosného průsvitného betonu.

## 2 ÚVOD

Z historického pohledu se dnes nacházíme v době betonové. Stavby, které byly postaveny za uplynulou dekádu, jsou ze železobetonu nebo mají betonové prvky, jako jsou například základové konstrukce. Masová poptávka po betonových konstrukcích a jejich originalitě umožnila vznik pohledových betonů. Pohledový beton je souhrnný název používaný pro novodobé architektonické betony.

Pohledové betony jsou konstrukce, u kterých zůstává povrch trvale odhalen. Proto je povrch konstrukce z pohledového betonu estetickou součástí architektonického návrhu. Díky odhalenému povrchu mají tyto konstrukce speciální požadavky na odolnost a vzhled. Tyto požadavky jsou vždy specifické pro danou konstrukci. [1]

Pohledové betony se od sebe liší technologií výroby. Při znalosti technologických postupů a dodržení jednotlivých norem může architekt vytvořit originální dílo. Metodami úpravy povrchu betonu jsou broušení, hlazení, leštění, vymývání aj. [1]

Pohledové betony mají dnes bezpočet postupů výroby, každý řešící jinou problematiku. Například architekt již není limitován šedavou barvou typickou pro konvenční beton, jelikož dokážeme dosáhnout různých barevných provedení pomocí výběru kombinace plniva, cementu a pigmentů přidaných do betonové matrice. Betonový povrch již nemusí být jen otiskem bednění. Je tomu tak, protože byly vyvinuty úpravy povrchu bednění, např. natření bednění zpomalovačem tuhnutí pro vytvoření obrazu na výsledném povrchu. Lze tedy říci, že finální povrch je výsledkem specifické betonáže, úpravy bednění, či úpravy povrchu po odbednění. [1]

Postupem doby byl vyvinut i průsvitný beton, jakožto touha po propojení dvou zcela odlišných materiálů. Beton jako samotný je světlo nepropustný a denní světlo bylo možné přenést do objektu jen pomocí oken, světlíků, či otvorů ve stěnách. Spojení betonové matrice a světlo propustných prvků, které propouští částečně denní světlo do interiéru, umožnilo dostat denní světlo i do míst, kde to donedávna nebylo možné. [1]

## 3 TEORETICKÁ ČÁST

### 3.1 Průsvitný beton

Průsvitný beton je novodobý typ stavebního materiálu, který umožňuje přenos fotonů z exteriéru do interiéru. Dodnes k jeho výrobě využíváme pouze tři materiály, kterými jsou optická vlákna, sklo a polymery. Technologie výroby průsvitného betonu se liší dle použitého průsvitného materiálu.

V současné době je snaha o vytvoření průhledného betonu. Avšak na rozdíl od průsvitného betonu, má být tento materiál průhledný podobně jako sklo. K dnešnímu dni, nebyl zatím vytvořen vzorek plně průhledného betonu s cementovým pojivem.

### 3.2 Historie průsvitného betonu

Beton je stavební materiál, který využíváme s určitými obměnami již od starověku. Moderní pojetí betonu však přišlo až v polovině 19. století s poznáním technologie hydraulických pojiv jako je cement. V návaznosti na Všeobecnou světovou výstavu v Paříži v roce 1900 se beton stal jedním ze základních stavebních materiálů.[2]

Tématem průsvitné nosné konstrukce se výzkum zabývá již dlouho. Příkladem úspěšné technologie je sklobeton. Sklobeton je průsvitný materiál ze skleněných stavebních dílců, které se nazývají luxfery, osazených do betonové směsi. Sklobetonové konstrukce jsou nosné i nenosné díky železobetonovému respektive betonovému rámu. Nejčastěji se lze setkat s konstrukcemi ze sklobetonu u příček, výplň otvorů a stropů. Na obrázku 1 lze vidět výplň otvoru z luxferových tvárnic v nosné obvodové stěně Bařova mrakodrapu ve Zlíně. [3]



Obrázek 1: Výplň otvoru sklobetonem [3]

Velký postupu v technologii výroby optických vláken ve 20. století dal za vznik průsvitnému betonu. V roce 2001 maďarský architekt Aron Losonczy přišel s ideou, kterou o dva roky později přetvořil ve funkční prototyp

průsvitného betonu, jež nazval LiTraCon jako zkratku *Light Transmitting Concrete*, jež v překladu znamená světlo propustný beton. Díky Aronu Losonczovi dnes mnoho technických institucí pracuje na zdokonalení technologie výroby tohoto materiálu. [4]

### 3.3 Materiály vedoucí fotony

V dnešní době máme již mnoho materiálů, které vedou fotony. Mnohé z nich jsou synteticky vyráběny, což je jeden z důvodů, proč se průsvitný a průhledný beton začal vyskytovat až v dnešní době. Průsvitnosti výsledného prvku dosahujeme zabudováním jednoho ze tří materiálů, kterými jsou optická vlákna, sklo a prvky z průsvitného polymeru. Každá z úprav směsi betonu za pomoci jedné z těchto ingrediencí má své klady a zápory.

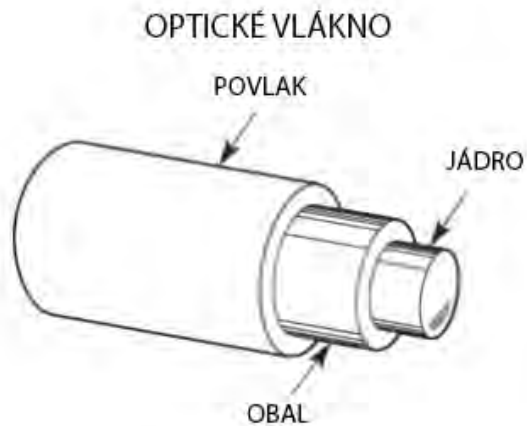
#### 3.3.1 Optická vlákna

Optická vlákna jsou vlákna na bázi skla či plastu, která díky skokové změně lomu světla ve svém těle zajišťují průchod světla od čela vlákna k jeho konci. Světlo zde prochází kolmo na řez vláknem, kde je pro průchod zapotřebí, aby fotony vnikaly do vlákna maximálně pod úhlem  $\theta_a$ . Čím větší je úhel, pod kterým světlo dopadá na čelo vlákna, tím větší energii ztratí světlo při průchodu svými odrazy. Může dojít až ke ztrátě celé energie fotonu a tím k přerušení přenosu světla z čela na konec vlákna. Paprsky, které dopadají rovnoběžně s osou vlákna probíhají bez odrazu. Optická vlákna jsou schopna vést infračervené až viditelné světlo.[5]

Vlákno se skládá ze středové části nazývané jádro, obalu, povlaku a bufferu. Jádro je prostor, ve kterém dochází k přenosu světla. Obal, který obklopuje jádro, je tvořen ze stejného materiálu jako jádro, avšak má nižší index lomu, čímž zajišťuje odraz paprsku světla na svém rozhraní s jádrem. Neoptickou vrstvu tvoří povlak a buffer. Povlak je tvořen vrstvou či vrstvami polymeru chránící vlákno před mechanickým poškozením. Buffer je svrchní vrstva chránící vlákno při instalaci. Tyto dvě vrstvy nejsou vždy součástí vlákna. Skladbu vlákna je možné vidět na obrázku 2.[5]

Skleněná optická vlákna se zkratkou GOF jsou vyráběna z oxidů kovů sulfidů nebo solenoidů obvykle avšak z oxidu křemičitého. Pro vytvoření odlišného indexu lomu na rozmezí jádra a obalu jsou do vsázky přidávány příměsi např. fluor. Tato vlákna jsou obvykle opatřena povlakem mnohdy i bufferem. Výhodou skleněných vláken je vysoká odolnost vůči extrémním teplotám a nižší ztráty světla při průchodu oproti plastové variantě. Nevýhodou je malá variabilnost průměrů vláken, která se pohybuje od 0,05 mm do 0,15 mm. Také křehkost, a tudíž i náchylnost ke zlomení jsou vlastnosti, které omezují jejich využitelnost v průsvitném betonu. [5]

Plastová optická vlákna se zkratkou POF jsou dvouvrstvá, obsahující jádro a obal. Obvykle jsou vyrobeny z polymethylmethakrylátu (PMMA), polykarbonátu (PC), cyklického olefinového kopolymeru (COC) či amorfního fluoropolymeru CYTOP. Výhodou POF je rozmezí vyráběných průměrů od 0,2 mm do 20 mm. Vzhledem k materiálu, ze kterého jsou vyrobeny, jsou vlákna



Obrázek 2: Skladba optického vlákna [6]

pružná. Nevýhodou těchto vláken je jejich nižší trvanlivost a průchod světla jen o vlnové délce v rozmezí 400 nm až 700 nm. Jelikož se viditelné světlo pohybuje ve vlnovém rozmezí 380 nm až 740 nm, jsou i POF vhodná pro použití v průsvitném betonu. [5]

Vzhledem k požadavku usměrněného prostupu světla je zapotřebí, aby vlákna vedla konstrukcí z lícové strany na rubovou stranu usměrněně. To má za následek, že vyrobitelnost betonových konstrukcí s použitím optických vláken je v současnosti omezena na prefabrikované konstrukce, či malé prvky ruční výroby. Vzhledem k primárnímu využití optických vláken v IT průmyslu se ztráta světelného signálu vykazuje v kilometrech. Vlákna by měla přenášet světlo na vzdálenost 20 metrů bez ztráty signálu. Vzhledem k tomu, že jsou průsvitné betonové konstrukce vyráběny v omezených tloušťkách v řádech desítek centimetrů, je možné uvažovat s úplným vstupem světla skrze vlákno. [5]

Pro využití v průsvitném betonu se ve světě používají POF vzhledem k nižší ceně, vyšší ohebnosti a dostupnosti. Také pro průsvitné betony není nutný průchod infračerveného světla, jež tato vlákna nedokáží přenést.

### 3.3.2 Sklo

Další ze způsobů, jak umožnit prostupu fotonů skrze konstrukci, je využití skleněných prvků. Těmito prvky jsou skleněná vlákna, tyčinky či odpadní sklo.

Skleněná vlákna se v betonovém průmyslu již používají pro výrobu vlákno-betonu. Avšak na rozdíl od vláknobetonu, kde průměr vláken je přibližně 13  $\mu\text{m}$ , průsvitný beton vyžaduje průměr vlákna v řádech desítek milimetrů pro přenos světla. [7, 8]

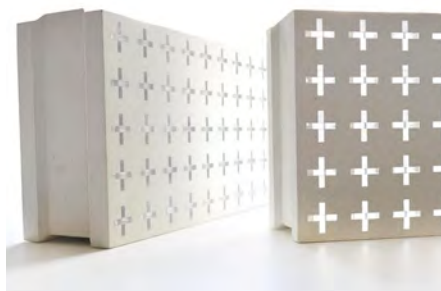
Skleněné tyčinky se průměrem pohybují v řádu centimetrů a jejich délka by měla korespondovat s tloušťkou výsledného prvku. Odpadní sklo lze využít v betonové směsi buď jako vložené velké kusy skla, nebo se skleněnou drť nahradí kamenivo o stejné frakci. Hlavní nevýhodou využití skla je malá

transparentnost ve finálním produktu díky obalení cementovým mlékem. Hodnota propustnosti světla při využití skla je 8krát nižší oproti prvkům s OV.

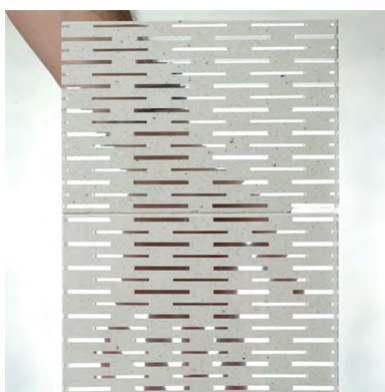
Využití konvenčního skla v betonu vede k předčasným ztrátám pevnosti z důvodu alkalicko-křemičité reakce. Proto při vývoji nosných konstrukcí z průsvitného betonu je nutné použít skleněné materiály se sníženým podílem křemíku a zvýšeným podílem zirkonia, aby byla zajištěna vyšší odolnost skla v alkalickém prostředí. [8]

### 3.3.3 Polymery

Materiály, kterými prostupuje konstrukcí nejvíce fotonů, jsou polymery, specificky pak polymerní pryskyřice, plasty a plexisklo. Polymery, vzhledem ke své ploše, kterou zabírají ve finálním prvku, přenášejí nejvíce světla oproti alternativám. Do konstrukce se zabudovávají v prefabrikovaných prvcích, které se mohou lišit velikostí i tvarem viz obrázek 3 a 4. [9]



Obrázek 3: Prefabrikovaný betonový blok od firmy LiCrete [10]



Obrázek 4: Prefabrikovaný betonový plát i.light [11]

## 3.4 Technologie výroby

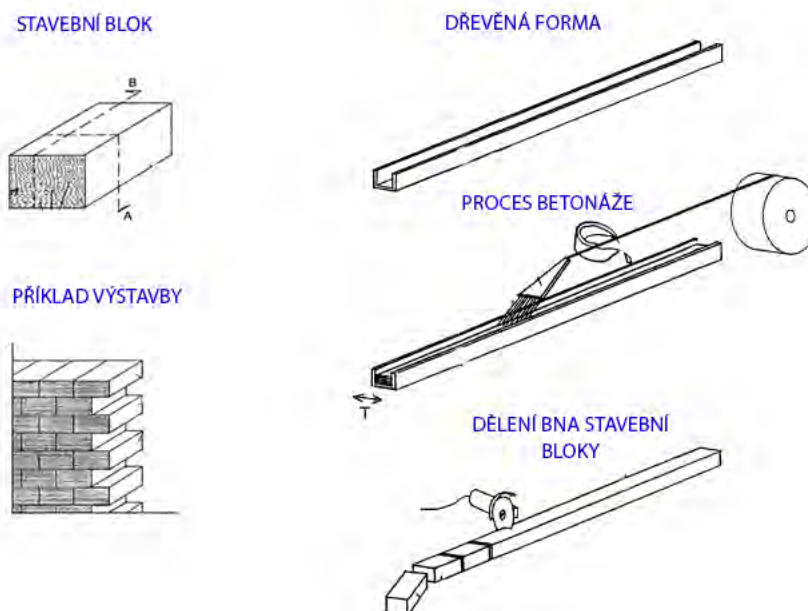
Přestože je průsvitný beton, vzhledem k ostatním konzervativním materiálům, značně mladý, bylo již vytvořeno mnoho postupů pro jeho výrobu. Metody se liší jak formou ukládání použitého materiálu, tak i tím, zda lze vyrábět betonové prvky strojně či ručně. Všechny uvedené metody jsou však

formou prefabrikace. K dnešnímu dni neexistuje postup pro vytvoření monolitické konstrukce z průsvitného betonu.

### 3.4.1 Technologie výroby s využitím optických vláken

Nejvíce využívaným přenašečem světla v betonu jsou optická vlákna. Pro zakomponování optických vláken do betonu byla vyvinuta řada výrobních postupů, kterými lze dosáhnout průsvitného betonu.

Prvním a patentovaným postupem, vytvořeným Áronem Losonczim, bylo volné ukládání optických vláken do betonové směsi viz. obrázek 5. Do dlouhé formy se uloží vrstva betonové směsi či cementové malty. Následně se v podélném směru přidá vrstva nejméně dvaceti optických vláken, které se za pomoci mechanického tlaku nebo vibrací dostanou do požadované hloubky matrice. Tento proces ukládání betonu a vláken se opakuje, dokud forma není vyplněna. Rovnoměrnost rozdělení vláken zajišťuje válec s tryskou, který vlákna ukládá nepřetržitě do formy. Po ztuhnutí betonu ve formě je prvek odbedněn a nařezán na bloky rozměrů 250 x 120 x 68 mm, kde každý blok váží přibližně 5 kilogramů. Řezy se provádí kolmo na ukládaná vlákna, aby byl umožněn průchod světla skrze blok. Ideální množství vláken v objemu prvku je 4 až 5 %. Tento výrobek je dostupný na trhu pod obchodním názvem LiTraCon. U konstrukcí provedených z propojených bloků LiTraCon je možné zpozorovat obrysy předmětů na vnitřní straně konstrukce jako rozmazaný stín nebo jako změnu barvy prosvíceného světla.[12, 13]

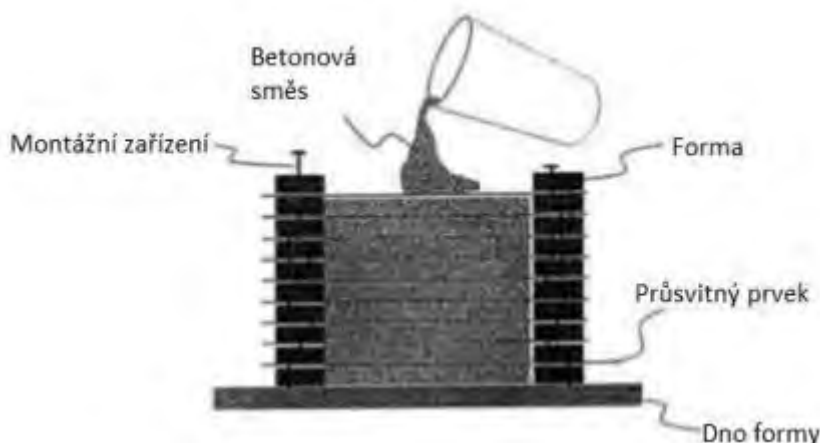


Obrázek 5: Postup výroby bloků LiTraCon [12]

Alternativně je možné formu nejprve vyplnit betonovou směsí a vlákna ve vrstvách samostatně zavibrovat do směsi. Zbýlý proces je však totožný s patentovaným. [12, 13]

Značnou výhodou této technologie je strojní výroba, pomocí které je možné vyrobit větší množství prvků za hodinu, než je tomu u ručně kladených výrobků. Následně zde není zapotřebí sofistikovaných či komplikovaných forem. Velkou výhodou je možnost výroby nosných i nenosných prvků. Nevýhodou této metody je nemožnost provádění konkrétních vzorů, na rozdíl například od protahovací metody. [12, 13]

Pro vědecké práce se nejvíce využívá protahovací metoda. Tato metoda je značně pracná avšak zajistí výsledné přesné vzory dle návrhu. Při této metodě jsou do připravené formy vyvrtány otvory ve dvou protilehlých bočních stěnách o přibližné velikosti zabudovávaných vláken. Následně se do formy osadí optická vlákna tak, aby konce přecházely z formy ven. Přecházející části se mohou připevnit k formě tak, aby při betonáži nedošlo k nežádoucím průhybům a vytékání cementového mléka. Schéma formy je možné vidět na obrázku 6. Forma se následně zalije betonovou směsí. Hutnění betonové směsi je dosaženo buď samovolně pomocí samozhutnitelného betonu nebo zavibrování vzorku pomocí vibrátoru. Po zatvrdnutí směsi se přecházející vlákna odstraní a prvek se odbední. Povrch takto připraveného prvku je možné leštit či brousit. [14, 15, 16, 17, 18]



Obrázek 6: Schéma formy pro protahování průsvitných prvků [14]

Protahovací metoda je velmi pracná a časově náročná. Její efektivnost je nízká, protože propustnost světla se zvětšuje s hustotou umístění optických vláken do formy. Čím je hustší pole malých světelných zdrojů, tím je lepší propustnost světla. Při použití optických vláken většího průměru se stejným procentem využití plochy se hodnota propustnosti sníží. Při této metodě není možné zajistit úplnou propustnost světla díky nejednotnosti skleněných prvků. [16]

Další možnou metodou upevňování optických vláken do formy je tzv. zabodávání. Jedná se o metodu, při které dno formy slouží jako vrstva, do které jsou upevněna optická vlákna zabodnutím. Při využití této metody je nutné zafixovat vlákna na druhé straně formy, aby nedošlo k zohýbání vláken ve formě a tím ke snížení propustnosti světla výsledného produktu. V případě, kdy upevníme vlákna tak, aby byla rovná v délce prvku, je nutné ještě zajistit,



aby s nimi při betonáži nebylo pohnuto. Pokud by vlákna nebyla upevněna, vzorek ztratí vzor průsvitných prvků na volné straně formy, avšak na přenos světla to nemá vliv. V rámci odbednění se dno formy a přebytečná vlákna odstraní. Pro estetičnost a zvýšení efektivity prostupu světla je možné prvek leštit či brousit.[19]

Forma zabodávání je využita i v metodě, která využívá mikrobeton. Běžně se mikrobeton využívá jako finální úprava podlah a stěn. Mikrobeton je směs jemně mletého cementu, křemenného písku, minerálních látek a polymerních přísad. Tato směs hydratuje již při přidání velmi malého množství vody, jež vytvoří cementovou pastu za mokra vypadající jako jíl. Při vyzrání dosahuje velmi vysokých pevností. Do pasty se zabodnou plastová optická vlákna, které jsou zafixována díky hustotě směsi. Směs ztvdne přibližně po čtyřech dnech. Následně je potřeba zbrousit povrch prvku, aby se objevily konce všech vláken. Této metodě se věnuje firma Rocalite. Blok rocalite průsvitného betonu lze vidět na obrázku 7. [15, 20]



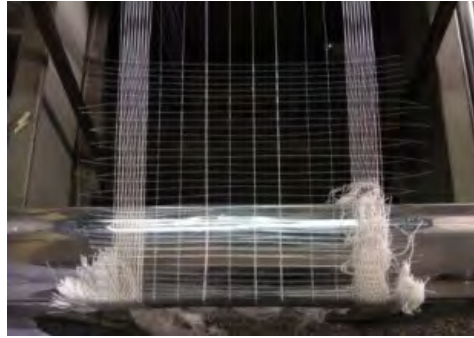
Obrázek 7: Blok průsvitného betonu firmy Rocalite [21]

Metody využívající zabodávání vláken jsou časově méně náročné než metody protahovací. Navíc při metodách zabodávání je nutné vyměnit jen dno formy. Nevýhodou je nutnost rovnání vláken.

### 3.4.2 Technologie výroby s využitím tkaných optických vláken

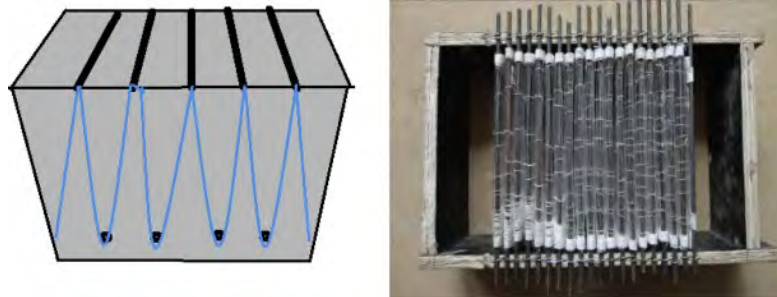
Další možností ukládání optických vláken do betonové směsi je využití tkaniny z optických vláken. Díky ukládání optických vláken ve vrstvách je produkce urychlena a zjednodušena. Optická vlákna jsou utkána s nitěmi z vlny do jednovrstvé tkaniny, jak je vidět na obrázku 8. Zabudování tkaniny do formy je možné třemi způsoby. [22, 23]

Prvním způsobem je uložit tkaninu do formy v celku tak, aby byla tkanina provléknuta napříč formou a zabezpečena kovovými tyčemi v podélném směru formy. Ocelové tyče jsou upevněny na horní a dolní straně formy. Tkanina je



Obrázek 8: Tkanina z optických vláken [23]

následně upravena do správné polohy. Pozice tyčí a tkaniny je možné vidět na obrázku 9. [23]



Obrázek 9: Uložení tkaniny do formy [23]

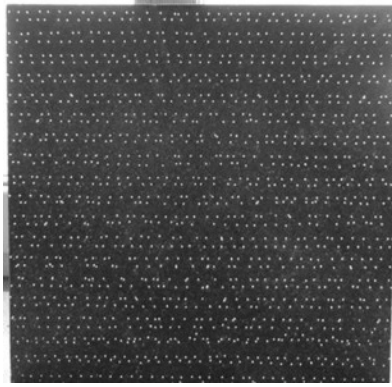
Druhá metoda pro ukládání tkaniny do formy spočívá v zabudování ocelové výztuže jako prvku pro fixaci tkaniny. Tímto způsobem je možné dosáhnout různých vzorů ve výsledném prvku. Schéma formy bez a s tkaninou je možné vidět na obrázku 10. [23]



Obrázek 10: Uložení tkaniny pomocí zabudované výztuže [23]

Obě metody mají totožný proces betonáže a odbednění. Po upevnění tkaniny do formy a zabetonování jsou vzorky po 24 hodinách odbedněny a nařezány na pláty určené tloušťky. Průsvitnost plátů je možné vidět na obrázku 11.

Poslední možnou metodou ukládání tkaniny do formy je podobná patentovaná metodě Árona Losonczi, kde je tkanina zabudována do betonové směsi ve vrstvách, tzn. že na tenkou vrstvu betonu je položena tkanina, která je následně lehce zavibrována do směsi. Tento krok se opakuje, dokud forma



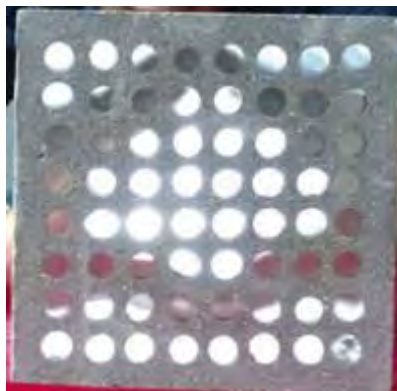
Obrázek 11: Řez vzorkem po vytvrdnutí směsi [23]

není naplněna. Po zatvrdnutí směsi je matrice rozřezána na kusy o určité tloušťce. [22, 23]

### 3.4.3 Technologie výroby s využitím polymerů

Vedle optických vláken můžeme pro přenos světla betonovými prvky využít polymery. Tyto polymery je možné rozdělit do tří kategorií, a to na polymerní pryskyřice, plasty a plexiskla.

Polymerní pryskyřice využíváme v průsvitném betonu jako prvek, který prochází skrze konstrukci nepřerušeně. Pryskyřice může být ve tvaru tyčinek, krychlí apod., kde jedinou podmínkou je, aby tloušťka polymeru byla stejná jako je tloušťka konstrukce. Tyto prvky se následně osadí do formy a jsou zalaty čerstvým samozhutnitelným betonem. Příklad využití polymerových tyčinek je možné vidět na obrázku 12. [24]



Obrázek 12: Příklad vzorku s využitím tyčinek z polymeru [24]

Metody využití plastových komponentů v průsvitném betonu jsou v zásadě stejné jako metody využívající skleněné tyčinky či polymerní pryskyřice.

Na tuzemském trhu přišli Jiří Peters a Ladislav Eberl s variantou průsvitného betonu s názvem LiCrete, který využívá UV stabilní plexisklo jako světlo nosný prvek umístěný ve směsi v podobě proužků s výřezy. Pomocí výřezů se do sebe jednotlivé proužky osadí, čímž vytvoří pevnou prostorovou síť, jež zajišťuje udržení proužků plexiskla na určeném místě při betonáži a tím i

uspořádaný vzhled výsledného produktu. Tato mřížka se následně vloží do formy a zalije samozhutnitelnou betonovou směsí. Po uplynutí 24 hodin jsou prvky odbedněny a přesunuty na 7 dnů do zracích komor. Po ztvrdnutí se zbrousí povrch, aby byl odhalen vzor mřížky. Postup výroby je možné vidět na obrázku 13. Deklarovaná pevnost stavebního bloku po 28 dnech je 60 MPa. Díky vysoké pevnosti je možné vyrábět nosné i nenosné prvky, tvárnice a panely. Výhodou této technologie oproti ostatním technologiím je její schopnost přenosu světla z boční strany prvku. Přestože tato metoda využívá z části ruční práci, není tak náročná jako ostatní metody, a proto je efektivnější. [9]



Obrázek 13: Postup výroby betonu LiCrete [25]

#### 3.4.4 Technologie výroby s využitím skla

Sklo můžeme v průhledném betonu využít dvěma způsoby. První způsob je využití skleněných tyčinek, tyčí či kostek, které se zabudují do formy podobně jako je tomu u patentované metody LiTraCon. Skleněné prvky se do formy vkládají tak, aby jejich tloušťka odpovídala požadované tloušťce finálního prvku. Pokud se betonuje forma ve směru kolmo na prvky, je zapotřebí betonovat ve vrstvách, do kterých se prvky osazují. Vzhledem k zajištění určitého vzoru, je nutné u tohoto případu využít samozhutnitelný beton. Pro případ betonování ve směru rovnoběžném se skleněnými prvky je, podobně jako u zabetonovací metody, zapotřebí zafixovat prvky ve formě, aby při zavibrování vzorku nedošlo ke ztrátě cíleného vzoru. Pokud skleněné prvky nelze zafixovat, použije se samozhutnitelný beton. Po vyzrání směsi se vzorky odbední a strany s místy vniku světla se zbrousí, aby byl odhalen jejich vzor. [15]

Druhým způsobem je použít odpadní sklo ve skleněných blocích. Tento typ betonu se nazývá anglicky *Beton Crystal* se zkratkou BC, což ve volném překladu znamená krystalový beton. U této metody jsou bloky skla osazeny do forem tak, aby splňovaly průchod světla skrze konstrukci, tzn. tloušťka skleněných bloků je stejná jako tloušťka výsledné konstrukce. Samozhutnitelná betonová směs se následně nalije do formy v horizontální poloze. Po odbednění je prvek zbroušen. Tyto prvky se mohou používat jako svislé vnitřní dělicí a nenosné konstrukce. Na obrázku 14 je možné vidět příklady příček s jasně viditelnými kusy odpadního skla, které se chovají jako světlo propustné prvky. [26]

Odpadní sklo může být použito i jako plnivo nahrazující kamenivo. U této metody se do betonové směsi vmíchá drcené odpadní sklo. Frakce skla je totožná s frakcí nahrazovaného kameniva. Omezené množství kameniva, které



Obrázek 14: Příklady konstrukcí s využitím odpadního skla [26]

bude v budoucnu k dispozici, dalo vzniku novým betonovým směsím, které využívají jeho alternativy. Avšak použitím odpadního skla jako alternativy kameniva v betonu má svá úskalí. Může dojít k alkalicko-křemičité reakci skla a cementu, která zapříčiní ztrátu pevnosti betonu a tím předčasnou degradaci materiálu. Další nevýhodou použití odpadního skla je malá účinnost výsledné směsi. Z důvodu obalení skleněného střepu cementovým mlékem je omezena tloušťka výrobku a schopnost materiálu efektivně vodit fotony skrze konstrukci. [27]

### 3.4.5 Betonová směs

Na betonovou směs jsou kladeny velké požadavky vzhledem k požadované kvalitě povrchu. Aby bylo dosaženo určitého vzoru na pohledových stranách prvku, je nutné zajistit tekutost betonové směsi.

Použité kamenivo bývá z pravidla drobné, obvykle velikosti zrna do 2 mm. Drobné kamenivo je nutné použít zvláště u prvků s optickými vlákny kvůli hustotě vypletení, kde jsou mnohdy mezery mezi vlákny stěží viditelné.

U technologických postupů, které kladou požadavky na minimální pohyb průsvitných prvků, je také nutné použít samozhutnitelný beton. Díky samozhutnitelnosti, není potřeba prvky vibrovat, čímž je omezen pohyb průsvitných prvků. [22]

### 3.4.6 Formy

Formy pro výrobu průsvitného betonu se liší vždy dle použité metody ukládání průsvitných prvků do formy. Pro výrobu forem se běžně používají kovy a materiály na bázi dřeva. Lze použít i polymery jako například pěnový polystyren.

Běžné ocelové formy, které mají velmi dobrou životnost, se využívají u metod, při kterých se průsvitné prvky do formy pouze vkládají. Pro metody využívající tkanin je zapotřebí upravit formu tak, aby byla zajištěna fixace prvků, které drží tkaninu na místě.

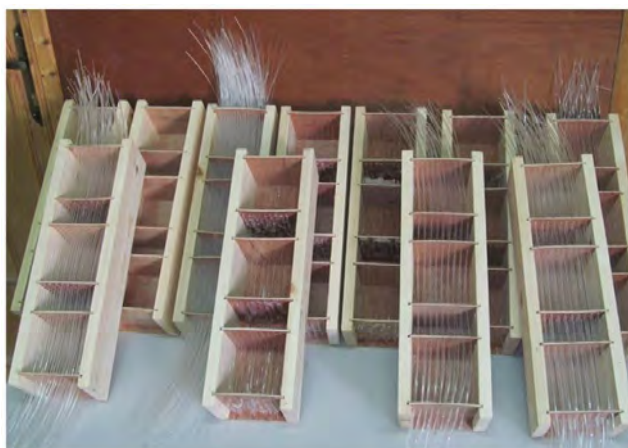
Pro protahování je možno použít oba materiály forem. Kovové formy jsou většinou využívány v sériových výrobcích, kde je potřeba použít formu opakovaně. Forma je opatřena otvory ve dvojici na sebe rovnoběžných stěn



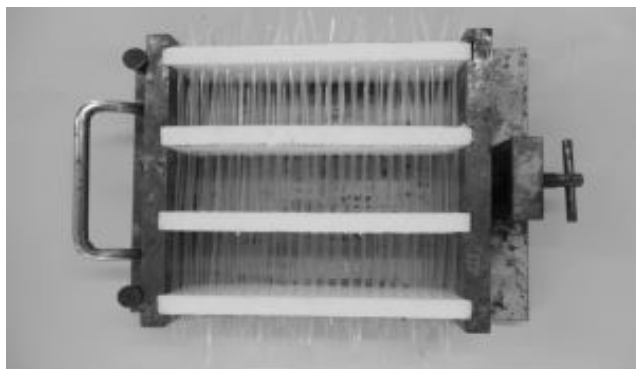
o průměru totožném s použitými optickými vlákny. Finální vzhled a prostupnost světla jsou závislé na hustotě a rozmístění otvorů.

Dřevěné formy jsou využívány hlavně pro jejich cenovou dostupnost. Při výrobě většího množství prvků najednou se využívají dlouhé dřevěné formy.

Je možné také využít ocelovou formu tak, že forma bude přepažena dvěma přepážkami, které jsou proděrované a připravené na metodu protahování. Při tomto postupu není potřeba pořizovat nové formy, či ničit stávající drahé formy. Takto připravenou formu lze vidět na obrázku 15 a 16.

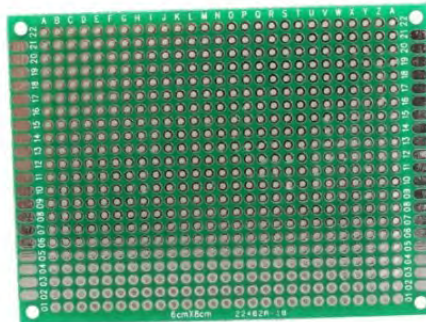


Obrázek 15: Dřevěná forma s přepážkami [28]



Obrázek 16: Ocelová forma s přepážkami [29]

Jako alternativa přepážek je v laboratorním prostředí také možné použít desky plošných spojů (PCB), jako tomu bylo například ve studii [15]. Deska plošných spojů, kterou lze vidět na obrázku 17, je základní součástka většiny elektronických zařízení. V použité PCB již byly vytvořeny otvory pro uchycení komponent. PCB byly využity jako stěny formy s otvory, pomocí kterých se protahovaly POV formou. Ve studii [15] formu sestavily z překližkových desek, jako stěny formy bez otvorů a dvou rovnoběžných stran z PCB.



Obrázek 17: Deska plošných spojů [30]

### 3.4.7 Odbednění

Jedinou zásadní odchylkou od běžného odbedňování je nutnost odstranění přečnávajících vláken. Pokud byla přečnávající vlákna připevněna k formě lepidlem, je nutné před odbedněním lepidlo odstranit.

### 3.4.8 Finální úpravy prvků

Při finálních úpravách pohledových stran prvků se postupuje dvěma způsoby. Při využití metod, ve kterých jsou průsvitné prvky volně uloženy do matrice, je nutné tyto prvky odhalit. Toho je dosaženo seříznutím či zbroušením stran kolmých na tyto prvky. Pokud byl vybetonován pás jednolitýho průsvitného betonu, je tento pás nařezán do požadované velikosti bloků. U prvků vyráběných protahováním optických vláken je nutné po odbednění zbrousit pohledové stěny tak, aby přečnávající vlákna byla zarovnána s povrchem. Pro zlepšení průchodu světla prvkem a jeho estetického vzhledu se výrobky zpravidla leští. [16, 17, 19]

## 3.5 Vlastnosti průsvitného betonu

Průsvitný beton je podobný konvenčnímu betonu, avšak použití průsvitných prvků ovlivňuje jeho vlastnosti, např. pevnost, objemovou hmotnost apod. Přidané prvky ovlivňují vlastnosti materiálu kladně i záporně. Ovlivnění výsledných vlastností materiálu nejvíce závisí na množství průsvitných prvků v použité směsi.

### 3.5.1 Pevnost betonu v tlaku

Z vlastností betonu, kterými se v dnešní době zabýváme, je pevnost v tlaku jedna z hlavních, která rozhoduje o únosnosti výsledné konstrukce. Doposud provedené studie se shodují, že se vložením průsvitných prvků do betonové

směsi sníží pevnost výsledného materiálu. Poměrové snížení pevnosti je závislé na procentu zastoupení průsvitných prvků v celkovém objemu materiálu. [5, 31]

Ve studii [5], zabývající se některými fyzikálními vlastnostmi průsvitného betonu, byla experimentálně zjišťována pevnost průsvitného betonu v tlaku po 28 dnech. Krychle o rozměrech 150 x 150 x 150 mm byly vybetonovány ve třech vrstvách, do kterých byla zavibrována plastová optická vlákna pomocí vibračního stolu. Vzorčky byly odbedněny po 24 hodinách od betonáže a byly skladovány ve vodní lázni po dobu 28 dnů. Výsledky tohoto experimentu jsou zaznamenány v tabulce 1

Tabulka 1: Výsledky tlakové zkoušky [5]

Procento obsahu vláken	Průměrná pevnost v tlaku po 28 dnech	
	N/mm <sup>2</sup>	%
0 %	47,208	100
1 %	43,752	92,7
2 %	42,731	90,5
3 %	40,701	86,2
4 %	38,894	82,4
5 %	38,161	80,8

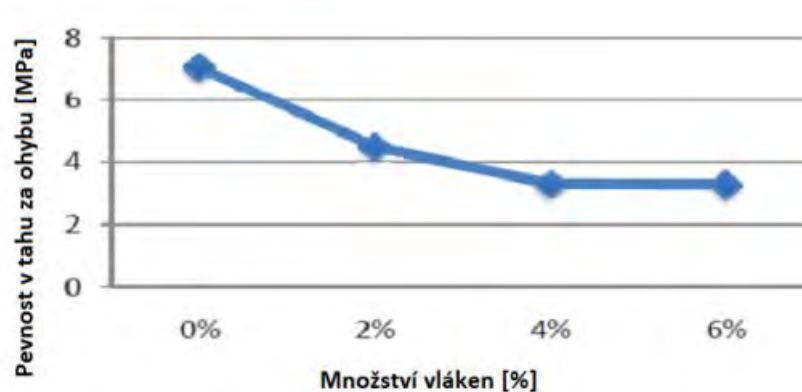
Z tabulky 1 je zřejmý snižující se trend pevnosti při zvyšujícím se procentu objemu optických vláken obsažených ve vzorcích. Ve třetím sloupci lze vidět procentuální vyjádření pevnosti v tlaku oproti referenčnímu vzorku totožné betonové směsi bez optických vláken. Při 5 % zastoupení optických vláken v objemu tělesa se sníží pevnost v tlaku o necelých 20 %.

### 3.5.2 Pevnost betonu v tahu za ohybu

Pevnost betonu v tahu za ohybu je další vlastnost, která určuje únosnost výsledné konstrukce. Ve studii [32] byla zkoumána pevnost v tahu za ohybu na vzorcích o velikosti 40 x 40 x 160 mm. Do kvádrů byla zabudována plastová optická vlákna o průměrech 1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm a 3 mm. Množství zastoupení vláken bylo 2, 4 a 6 % objemu výsledného vzorku. Pro každý průměr vláken a procentuální zastoupení byly vyrobeny dva testovací vzorky. Zkouška vzorků probíhala po 28 dnech od betonáže.

Na obrázku 18 jsou zobrazeny výsledky zkoušky pevnosti v tahu za ohybu pro vzorky s průměry optických vláken 1,5 mm. Lze vypořadovat snižující se trend pevnosti se zvyšováním procenta zastoupení optických vláken v objemu vzorku. Mezi referenčním vzorkem totožné betonové směsi a vzorkem s 2 % objemu optických vláken došlo ke snížení pevnosti o 36 %. U vzorků se 4 % a 6 % zastoupením optických vláken se pevnost snížila oproti referenčnímu vzorku o přibližně 53 %.





Obrázek 18: Výsledky zkoušky pevnosti v tahu za ohybu [32]

### 3.5.3 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost průsvitného betonu se liší použitým průsvitným materiálem a jeho množstvím, avšak všeobecně se dá říci, že je nižší než u obyčejného betonu. [33]

### 3.5.4 Průsvitnost

Vlastností jedinečnou pro průsvitný beton je právě jeho průsvitnost. Průsvitnost se liší v rámci použitých světlo propustných prvků. Konvenčně lze prostup světla měřit zařízeními, jako jsou luxmetry a solarmetry.

Pro experimenty lze sestavit jednoduchý luxmetr nebo použít komerční výrobky. Je tomu tak, protože prostup světla vzorkem lze měřit pomocí proudu ve fotodiodě či světelně závislém rezistoru LDR.

Průsvitnost u prvků s optickými vlákny je závislá na jejich procentuálním zastoupení v objemu prvku, jejich rozestupech a stupni drsnosti povrchu. Čím vyšší je procentuální zastoupení vláken v prvku, tím vyšší je množství propuštěného světla. Při zmenšení rozestupů mezi vlákny se propustnost světla zvýší. Propustnost však nezáleží na průměru použitých optických vláken. [34]

## 3.6 Evaluace průsvitného betonu

Jako každý stavební materiál má průsvitný beton své výhody i nevýhody. Při architektonickém zvážení výhod a nevýhod jde říci, že průsvitný beton má značný potenciál pro vytváření originálních děl. Po ryze praktické stránce je tento typ betonu nevýhodný pro masovou výrobu.

### 3.6.1 Výhody

Největší výhodou průsvitného betonu je jeho schopnost přenosu světla z osvětlené strany na stranu stinnou. Díky průsvitnosti je vhodné použít konstrukce z průsvitného betonu místech s nedostatkem denního světla.

Betonové konstrukce z průsvitného betonu je taktéž možné využít jako bezpečnostní prvky, jako jsou vizuální signalizace únikových cest, či signalizace nástupní a výstupní hrany schodiště při využití zabudovaného světelného

zdroje. Novodobost tohoto materiálu dodává značnou rozmanitost využití pro architektky, kteří se snaží vybudovat ojedinělé dílo.

### 3.6.2 Nevýhody

Jelikož průsvitný materiál je technologicky mladý, jsou jeho nevýhody značné. Velká pracnost, náročnost výroby a nutnost ručního osazování průsvitných prvků zapříčiňuje vysoké náklady na výrobu tohoto materiálu.

Vzhledem k požadavkům na tepelnou techniku v České republice je možné, že by obvodová konstrukce vyrobená z průsvitného betonu nevyhověla normám, podobně jako tomu je u nezateplené železobetonové konstrukce.

## 3.7 Využitelnost průsvitného betonu

Průsvitný beton se nejvíce využívá jako architektonický prvek. Stejně jako tomu je u jiných pohledových betonů, dodává objektům na originalitě.

Z technického pohledu může být průsvitný beton využit hned několika způsoby. Jedním z využití prvků z průsvitného betonu jsou světlíky u vchodových dveří, jež vytvoří bezpečnostní prvek pro přehled o osobách vně objektu.

Dalším možným použitím je výroba dělicích stěn v restauracích, kancelářích či klubech. Díky průchodu světla je možné kontrolovat počet osob za konstrukcí, aniž by bylo narušeno soukromí za konstrukcí.

Pokud se bloky z průsvitného betonu zabudují do obvodové stěny jako obvodové zdivo, či do lehkého obvodového pláště, bude zajištěn přísun denního světla do budovy, aniž by byla potřeba využít tolika okenních otvorů. Když se bloky v obvodovém plášti podsvítí, vytvoří tak originální estetický rys budovy. Využití průsvitného betonu by mohlo vést i ke zvýšení bezpečnosti v budově zabudováním bloků průsvitného betonu do schodišťových prostor.

V poslední době si architekti velmi oblíbili využití průsvitného betonu jako materiálu pro výrobu nábytku obytných i veřejných interiérů. Jednou z nejrozšířenějších variant jsou stínidla lamp. Dalšími velmi rozšířenými výrobky jsou často podsvícené barové pulty a podsvícená loga.

## 3.8 Výrobky z průsvitného betonu

Na trhu se objevilo již značné množství firem, které se průsvitnému betonu věnují. Výrobky, které tyto firmy produkují, lze rozdělit do tří kategorií. První kategorií jsou betonové desky či panely, do kterých jsou zabudována optická vlákna. Druhá kategorie je tvořena výrobky využívající polymery. Třetí kategorie obsahuje výrobky izolačních fasádních panelů.

### 3.8.1 Desky a panely s optickými vlákny

Firma LiTraCon situovaná v Maďarsku je první firmou, která se na trhu objevila s výrobky z průsvitného betonu. Vývoj je veden maďarským architektem Aronem Losonczim již od roku 2001. Firma vytváří betonové prefabrikované panely s 5 % zastoupením objemu optickými vlákny. Panely jsou

vytvářené patentovaným způsobem, kdy jeho maximální možná výrobitelná velikost je 1200 x 400 milimetrů o tloušťce v rozmezí 25 až 200 milimetrů. Na obrázku 19 je vyzděná příčka, na které je možno vidět vzor optických vláken ručně ukládaných do formy. [35]



Obrázek 19: Příčka z panelů Litracon [35]

Podobně jako LitraCon se na německém trhu objevila firma LUCEM. Firma vyrábí hned 2 produkty z průsvitného betonu ve třech materiálových variantách. Jsou to podsvícené dlažební kostky a podsvícená venkovní dlažba. Jejich materiálové varianty se od sebe liší použitou barvou betonové směsi, vzdáleností a průměrem použitého optického vlákna. Příklady výrobků firmy LUCEM lze vidět na obrázcích 20 a 21. [36]



Obrázek 20: Dlažební kostka s podsvícením od firmy Lucem [36]



Obrázek 21: Podsvícená venkovní dlažba Lucem [36]

Na německém trhu se také objevuje firma Luccon s panely z průsvitného betonu o velikosti 1,5 x 1,0 m či 2,0 x 1,0 m a o tloušťce 20 nebo 30 mm. Tyto panely se nejvíce využívají jako podsvícený obklad pultů, stěn, či fasád. Obložení barového pultu lze vidět na obrázku 22.



Obrázek 22: Příklad obložení panely z průsvitného betonu [37]

### 3.8.2 Panely s polymery

S výrobky obsahující polymery přišla česká firma Licrete. Jako průsvitný materiál používá plexisklo. Právě díky využití plexiskla dokáží panely propustit až 20 % světla. Výrobce doporučuje využívat tyto panely jako vnitřní příčky, kde se pracnost výstavby snižuje díky zámkovému systému. Příklad stavebního bloku Licrete je vidět na obrázku 23.



Obrázek 23: Blok průsvitného betonu Licrete [10]

Na druhou stranu, Italská firma Italcementi Group vytvořila betonové bloky se zabudovanými proužky průhledné polymerové pryskyřice, jež nazvala i.light. Díky zabudované polymerové pryskyřici panely dokáží propouštět přímé i rozptýlené světlo. Stavební dílec i.light lze vidět na obrázku 24.



Obrázek 24: i.light průsvitný betonový panel [38]

### 3.8.3 Izolační fasádní panely

S inovativními fasádními panely přišel technologický institut z Dánska, který využil technologie průsvitného betonu, ze kterého vytvořil sendvičový panel s vnitřní izolací z minerální vlny, skrz kterou probíhají optická vlákna. Testovací panel BrightWall je možné vidět na obrázku 25.



Obrázek 25: Izolační sendvičový panel [39]

## 3.9 Budovy s prvky z průsvitného betonu

První stavbou postavenou z průsvitného betonu byl *European Gate*, která byla vyprojektována zakladatelem průsvitného betonu Aronem Losonczim v roce 2004 v maďarském městě Komárov jakožto oslava vstupu Maďarska do EU. Ve dne konstrukce využívá denního světla pro vytváření stínů za konstrukcí a v noci je konstrukce podsvícena zabudovaným zdrojem světla, jež je vidět na obrázku 26.[40]



Obrázek 26: Evropská brána za nočního osvětlení [40]

Na EXPO 2010 v Šanghaji italští architekti postavili pavilon z průsvitného betonu i.light. Konstrukce budovy obsahuje 3,7 tisíce panelů z tohoto betonu o povrchu 1887 m<sup>2</sup>, což je přibližně 40 % celé konstrukce. Fasádu budovy je možné vidět na obrázku 27. [41]



Obrázek 27: italský pavilon na EXPO 2010 [41]

V současnosti se objevuje stále více budov, které mají fasádní prvky z průsvitného betonu. Většinou se jedná o obklad fasády a její podsvícení pro estetičnost budovy. Na obrázku 28 je příklad podsvíceného obložení fasády z průsvitného betonu.





Obrázek 28: Fasádní obložení prvky Lucem [42]

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Experimentální část je věnována třem směsím průsvitného betonu, které budou podrobeny zkoušce prosvícení tělesa pro zjištění hodnoty přeneseného světla. Následně se bude u dvou směsí zjišťovat, zdali zabetonované světelné zdroje jsou schopné vyzařovat světlo z povrchu tělesa.

### 4.1 Vstupní materiály

Vstupní materiály pro provedené experimenty byly vybrány s důrazem na samozhutnitelnost betonové směsi a průsvitnost výsledného prvku. V případě směsi využívající optická vlákna bylo zapotřebí zajistit, aby vlákna nebyla v rámci procesu betonáže poškozena.

#### 4.1.1 Cement

Pojivo použité pro všechny směsi byl bílý cement s označením CEM I 52,5R od *Aalborg portland*. V tabulce 2 jsou vypsány základní charakteristiky použitého cementu. Více informací o použitém cementu je možné najít v příloze 1.

Tabulka 2: Charakteristiky CEM I 52,5 R

Popis	Pevnost v tlaku za 2 dny [MPa]	Pevnost v tlaku za 28 dní [MPa]	Počátek tuhnutí [min]	Konec tuhnutí [min]	Měrný povrch [kg/m <sup>3</sup> ]
CEM I 52,5R	30,0	52,5	5	45	3120

#### 4.1.2 Kamenivo

Jako kamenivo byl použit křemičitý bílý písek frakce 0,3-1 mm a 1-2 mm. Na obrázku 29 je možné vidět hrubost frakcí. Základní vlastnosti kameniva deklarované výrobcem jsou vypsány v tabulce 3. Vlastnosti, které nejsou zmíněny v tabulce, lze dohledat v technických listech v příloze 2 a 3.

Tabulka 3: Charakteristiky kameniva

Frakce kameniva	Objemová hmotnost [kg/m <sup>3</sup> ]	Vlhkost [%]
0,3-1	1630	do 13
1-2	1500 - 1800	do 1





Obrázek 29: Ukázka frakcí kameniva

#### 4.1.3 Ostatní plniva

Běžně dostupným průsvitným materiálem je sklo a plast. Proto byly použity plastová vlákna a drcené zaoblené sklo.

Plastová vlákna mají délku 5 cm a jejich průměr se pohyboval mezi 0,6 a 0,9 mm. Další základní informace jsou uvedeny v tabulce 4. Experimentálně byla zjištěna objemová hmotnost jednoho balení vláken, které je možné vidět na obrázku 30. Zjištěná objemová hmotnost je  $875 \text{ kg/m}^3$ . Ze zjištěné objemové hmotnosti lze uvažovat, že vlákna budou vyplavávat ze směsi.

Tabulka 4: Charakteristiky plastových vláken

Průměr [mm]	Délka [mm]	Materiál	Objemová hmotnost [ $\text{kg/m}^3$ ]
0,6-0,9	50	sklo	875

Drcené sklo bylo použito ve frakcích 2-4 a 4-7 mm. Výrobce neudává materiálové charakteristiky svých výrobků, a proto byla experimentálně zjišťována objemová hmotnost zakoupeného materiálu. Objemová hmotnost frakce 2-4 mm a 4-7 mm je  $1650 \text{ kg/m}^3$  respektive  $1600 \text{ kg/m}^3$ . Na obrázku 31 je možné porovnat frakce drceného skla.



Obrázek 30: Balíček plastových vláken s ukázkou jednotlivých vláken



Obrázek 31: Drcené sklo frakce 2-4 a 4-7 mm

#### 4.1.4 Optická vlákna

Byla použita plastová optická vlákna značky *Tru Components*. Tato optická vlákna byla vybrána na základně výrobcem deklarovaných vlastností. Dalším důvodem pro výběr konkrétních vláken byla téměř 100 % shoda vlastností s vlastnostmi optických vláken použitých v zahraničních studiích. Vlákna byla použita o průměru 0,5 mm z PMMA plastu bez bufferu a povlaku. Poloměr ohybu vláken je 10 mm.

#### 4.1.5 Přísady

Pro usnadnění manipulace s čerstvým betonem byl do směsí přidán superplastifikátor značky *Stachema* dostupným pod výrobním označením *STACHEMENT 757*. Tento výrobek je používám pro výrobu samozhutnitelných betonů, prefabrikátů, monolitických betonových konstrukcí a konstrukcí z lehkého betonu. Uvedený superplastifikátor má dále kladný vliv na počáteční a konečnou pevnost betonové konstrukce. Superplastifikátor byl přidán do směsí jako 1 % z hmotnosti cementu, kde doporučená dávka výrobcem se pohybuje v rozmezí 0,5-1,5 % z hmotnosti cementu. Bližší informace o výrobku jsou v technickém listu v příloze 4. [7]

#### 4.1.6 Voda

Pro výrobu betonových vzorků byla použita pitná voda z vodovodního řadu.

### 4.2 Připravené směsi

Jak již bylo dříve zmíněno, experimenty byly provedeny na třech typech směsí a jedné kombinaci. Směsi byly navrženy s důrazem na jejich tekutost a zpracovatelnost. [7]

#### 4.2.1 Směs B1 - plastová vlákna

Složení betonové směsi pracovně nazvané B1 je zobrazené v tabulce 5. Vlákna se do směsi přidala v průběhu ručního míchání směsi tak, aby byla rovnoměrně rozprostřena, a proto nebyla usměrněna.

Tabulka 5: Složení betonové směsi B1

Vstupní materiály [ kg/m <sup>3</sup> ]						
Cement	Voda	Kamenivo frakce 0,3-1 mm	Kamenivo frakce 1-2 mm	Plastová vlákna	Superplastifikátor 1 % z cementu	vodní součinitel v/c [ - ]
600	220	700	300	50	6	0,37

#### 4.2.2 Směs B2 - optická vlákna

Směs s optickými vlákny se od ostatních použitých směsí liší zabudováním průsvitných prvků do formy. Bylo nutné použít kamenivo jemné frakce, aby při betonáži nedošlo k poškození optických vláken. Složení betonové směsi pracovně nazvané B2 je vypsáno v tabulce 6.

Tabulka 6: Složení betonové směsi B2

Vstupní materiály [ kg/m <sup>3</sup> ]						vodní součinitel v/c [ - ]
Plastová optická vlákna	Cement	Voda	Kamenivo frakce 0,3-1 mm	Kamenivo frakce 1-2 mm	Superplastifikátor 1 % z cementu	
15	500	200	1000	200	5	0,4

#### 4.2.3 Směs B3 - drcené sklo

Ve směsi s názvem B3 bylo obvyklé plnivo, tedy kamenivo, nahrazeno drceným oblým sklem. Složení směsi B3 je zobrazené v tabulce 7.

Tabulka 7: Složení betonové směsi B3

Vstupní materiály [ kg/m <sup>3</sup> ]					vodní součinitel v/c [ - ]
Cement	Voda	Drcené sklo frakce 1-4 mm	Drcené sklo frakce 4-7 mm	Superplastifikátor 1 % z cementu	
500	200	800	400	5	0,4

#### 4.2.4 Směs B4 - kombinace drceného skla a plastových vláken

Poslední směs kombinuje směsi B1 a B3. Funkci plniva ve směsi B4 zastupuje drcené sklo. Plastová vlákna byla přidána jako pomocný průsvitný prvek. Složení směsi B4 je vypsáno v tabulce 8. Podobně jako u směsi B1 byla plastová vlákna přidána do čerstvého betonu v průběhu ručního míchání směsi tak, aby byla rovnoměrně rozložena.

Tabulka 8: Složení betonové směsi B4

Vstupní materiály [ kg/m <sup>3</sup> ]							vodní součinitel v/c [ - ]
Cement	Voda	Drcené sklo frakce 1-4 mm	Drcené sklo frakce 4-7 mm	plastová vlákna	Superplastifikátor 1 % z cementu		
600	220	350	150	50	6	0,37	

### 4.3 Experiment č. 1 - Prostup světla průsvitnou betonovou konstrukcí

Experiment prostupu světla průsvitným betonem se zaměřuje na zjištění průměru hodnoty jasu fotografie pořízené při prosvícení vzorků v temné komoře. Experiment se snaží stanovit nejefektivnější směs průsvitného betonu. Vzorky byly vyrobeny ve dvou variantách, které se lišily tloušťkou výsledného tělesa.

#### 4.3.1 Použité směsi

Pro zkoušku prostupu světla byla vybrána tělesa ze směsí B1, B2 a B3. Tedy byly použity směsi s pouze jedním druhem průsvitného prvku. Směsi B1, B2 a B3 po smíchání vstupních materiálů lze vidět na obrázcích 32, respektive 33 a 34.



Obrázek 32: Čerstvý beton směsi B1 Obrázek 33: Čerstvý beton směsi B2

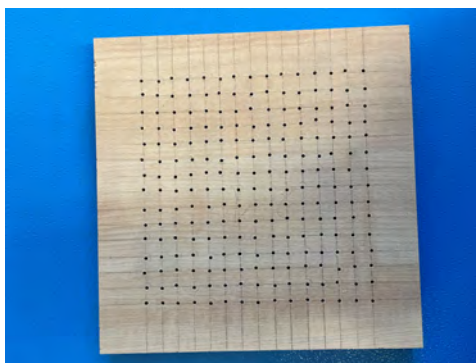


Obrázek 34: Čerstvý beton směsi B3

#### 4.3.2 Příprava formy

Vzorky byly prováděny v rozměrech 200 x 200 mm o tloušťkách 25 a 50 mm. Formy byly sestaveny z dřevotřískových desek o tloušťce 15 mm.

Formy pro směsi B2 bylo zapotřebí opatřit otvory pro zavedení optických vláken. Otvory byly provedeny elektrickou vrtačkou s vrtákem o průměru 1 mm. Rastr činil 15 x 15 otvorů po 1 mm. Otvory a jejich rastr lze vidět na obrázku 35.



Obrázek 35: Rastr 15 x 15 po 10 mm

#### 4.3.3 Postup připevnění optických vláken

Postupem vybraným pro upevňování optických vláken do formy bylo protahování. Protahování bylo provedeno na propojených čelech forem pro zajištění stabilní pozice vláken. Jednotlivé konce vláken se nezastríhovaly ani nelepily, ale naopak protahování probíhalo kontinuálně. Způsob protahování byl podobný vyšívání, čímž vzniklo pevné uchycení vláken ve formě. Při manipulaci s optickým vláknem bylo zajištěno, aby nebyl překročen minimální poloměr ohybu. Po vypletení byly formy opatřeny dnem. Vypletená forma vyfotografovaná proti dennímu světlu je zobrazena na obrázku 36.





Obrázek 36: Vypletená forma proti dennímu světlu

#### 4.3.4 Proces betonáže

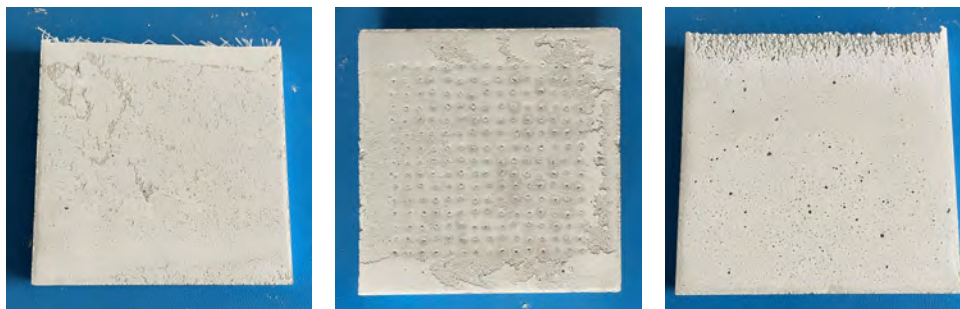
Připravené formy byly zality čerstvým betonem. Po naplnění forem byly prvky lehce zavibrovány za pomoci vibračního stolku. Na obrázku 37 je možné vidět vybetonovaná tělesa B2 a B3.



Obrázek 37: Vybetonované formy B2 a B3

#### 4.3.5 Odbednění a příprava na zkoušení

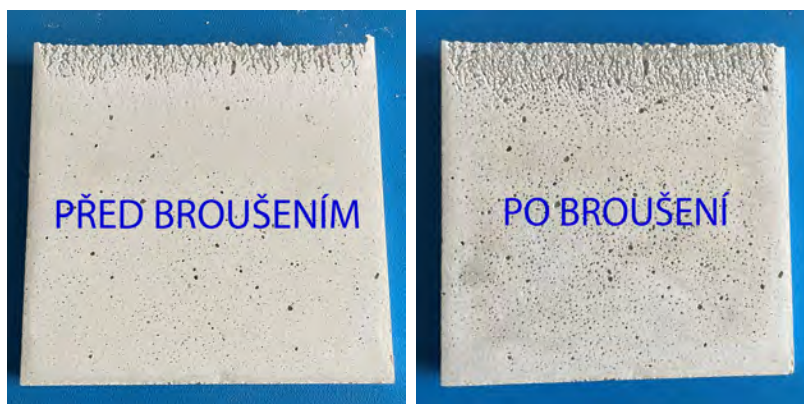
Vzorky byly po 48 hodinách odbedněny. U vzorků ze směsi B2 byla před odbedněním odstraněn výplet na vnější straně formy. Jednotlivá tělesa je možno vidět na obrázcích 38, 39 a 40. Z obrázků je patrné, že povrch těles značně ovlivňuje separované cementové mléko.



Obrázek 38: Těleso B1 Obrázek 39: Těleso B2 Obrázek 40: Těleso B3

Čelní dílce formy pro vzorky s označením B2 obsahovaly kontinuální výplet, což znemožňovalo oddělení dílce formy od vzorku během odbednění. Malé otvory v dílci formy, které nebyly zcela vyplněny vlákny z důvodu realizačního procesu vyplétání, vyplnilo během ukládání betonové směsi cementové mléko a došlo ke křehkému spojení vzorku s formou. Bylo nutné vynaložit smykovou sílu, která přestříhla vlákna a oddělila dílec formy od vzorku. Střih vláken byl zarovnaný s povrchem vzorku, a proto se vzorky B2 nebrousily. Kvalita povrchu vzorků B2, viz. obrázek 39, byla negativně ovlivněna nepoužitím odformovacího nástřiku na stěny formy, který byl technologicky složitý na provedení kvůli tloušťce formy a vláknovému výpletu. Při opětovné realizaci by bylo vhodné opatřit stěny formy odformovacím přípravkem před započatím vyplétání.

Na tělesech B3 došlo k pokusu o odhalení vrstvy drceného skla za pomoci broušení. Avšak po zbroušení nedošlo k výrazné změně prostupu světla tělesem, které by bylo možné zachytit lidským okem. Rozdíl povrchu těles B3 lze vidět na obrázku 41.



Obrázek 41: Povrch těles B3 před a po broušení

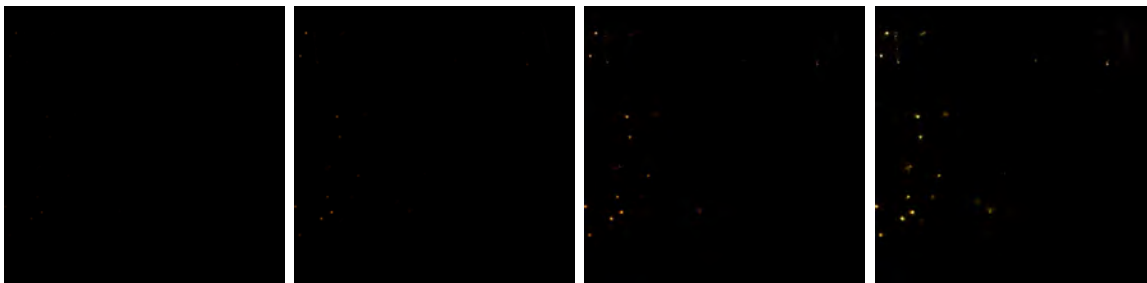


### 4.3.6 Zkouška průchodu světla materiálem

Jako první byla provedena zkouška průsvitnosti tělesy denním světlem, která se vyhodnocovala vizuálně. Druhá zkouška se zabývala prosvícením těles v temné komoře za pomoci umělého deskového zdroje světla o výkonu 2000 luxů. Zdroj světla byl osazen do ručně vyrobeného stínidla, vyrobeného z použitých desek forem těles. Průsvitnost byla stanovena pomocí určení váženého průměru jasu fotografie.

V rámci zkoušení byly pořízeny fotografie s délkou expozice o hodnotě 0,2; 1; 5 a 15 sekund. Expozice byly voleny v různých délkách, aby bylo možné porovnávat všechny použité vzorky s rozdílným způsobem prosvětlování, a zároveň různou výslednou světelností. Snímky jsou zobrazeny na obrázcích 42, 43, 44, 45 a 46.

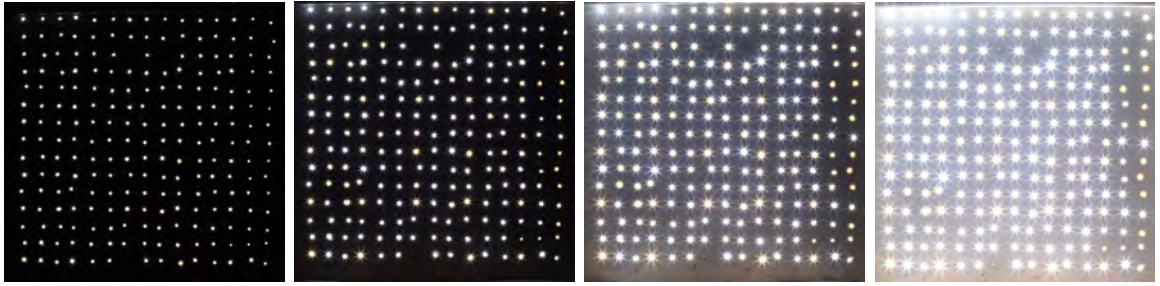
Fotografie byly převedeny do černobílého formátu. U takto upravených fotografií byl následně vytvořeným programem spočítán průměrný jas dané fotky. Průměrný jas byl spočítán jako vážený průměr jednotlivých pixelů ve fotce vynásobený jejich jasnem. Jas pixelu ve fotce se může pohybovat mezi hodnotou 0 (ekvivalent černého pixelu) a 255 (ekvivalent bílého pixelu). Výsledný vážený průměr celé fotky byl následně vydělen 255, čímž jsme získali číslo mezi 0 a 1, které udávalo poměr světla ve fotce. Čím více se výsledné číslo dané fotky blíží 0, tím je fotka tmavší. Čím více se číslo blíží 1, tím je fotka světlejší. Výsledek 0 by znamenal, že vzorek nepřevodl žádné světlo. Výsledek 1 by pro účely tohoto experimentu znamenal, že vzorek dokázal převést v době 15 vteřin tolik světla, kolik vyzářil zdroj.



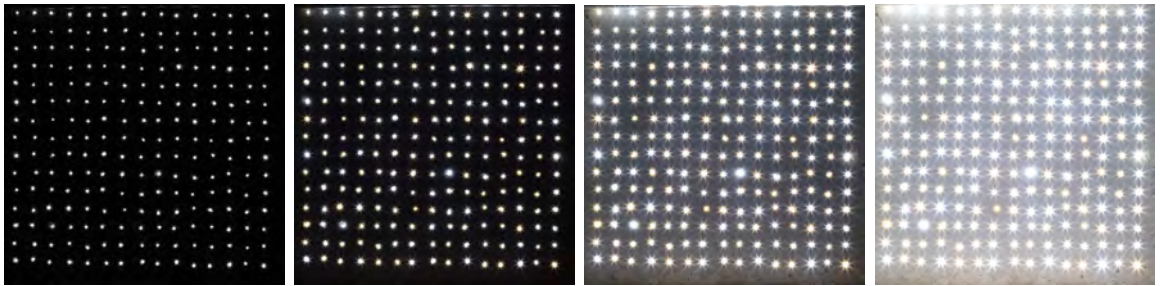
Obrázek 42: Těleso B1 o tl. 25 mm: 0,2 s; 1 s; 5 s a 15 s



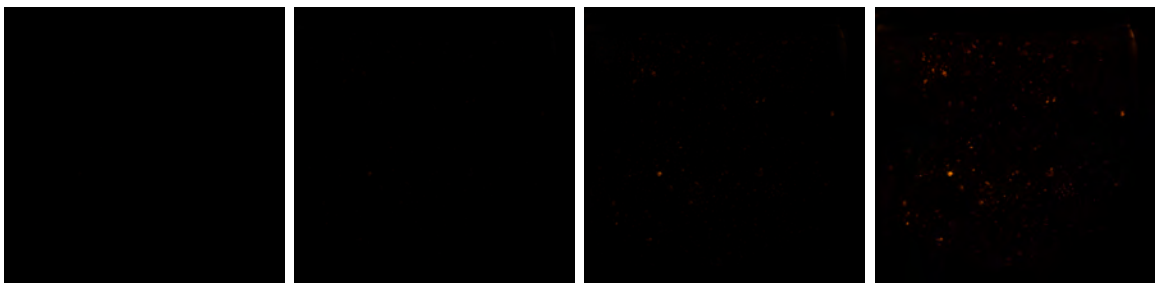
Obrázek 43: Těleso B1 o tl. 50 mm: 0,2 s; 1 s; 5 s a 15 s



Obrázek 44: Těleso B2 o tl. 25 mm: 0,2 s; 1 s; 5 s a 15 s



Obrázek 45: Těleso B2 o tl. 50 mm: 0,2 s; 1 s; 5 s a 15 s



Obrázek 46: Těleso B3 o tl. 25 mm: 0,2 s; 1 s; 5 s a 15 s

Parametry použitého objektivu jsou:

Světelnost objektivu: f/1.4  
Ohnisková vzdálenost objektivu: 85 mm  
Vzdálenost objektivu od vzorku: 1 m

Pro každou fotografii existují dva soubory .RAW a .JPG. Parametry použitého fotoaparátu jsou:

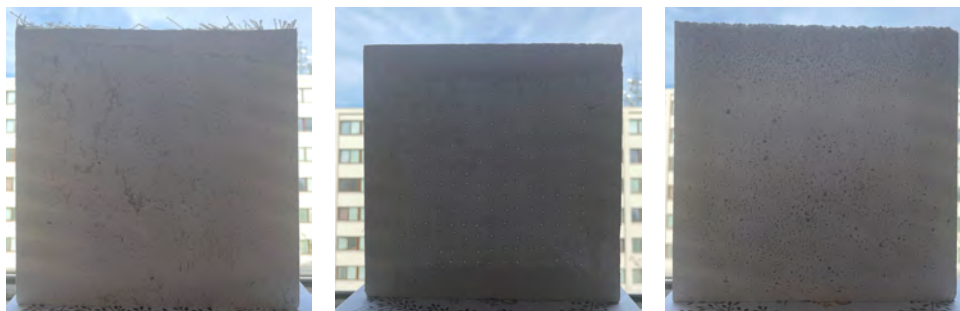
Expoziční jas: proměnný  
ISO: 100  
Clonové číslo: F3.5

Parametry použitého světla jsou:

Teplota: 4500 K  
Jas: 2500 lumenů

#### 4.3.7 Vyhodnocení zkoušky průchodu světla konstrukcí

První vyhodnocení bylo provedeno vizuálně na denním světle. Tělesa B1 a B3 nevykazovala propustnost světla při pozorování lidským okem. Naopak tělesa B2 vykazovala propustnost světla konstrukcí i při rozptýleném denním světle. Průsvitnost jednotlivých těles o tloušťce 25 mm lze vidět na obrázcích 47, 48 a 49.



Obrázek 47: Průsvit tělesa B1      Obrázek 48: Průsvit tělesa B2      Obrázek 49: Průsvit tělesa B3

Pro vyhodnocení zkoušky průsvitnosti v temné komoře byly fotografie upraveny v programu Photoshop. Porovnávaly se fotografie s délkou expozice 15 sekund. Programem vypočtené hodnoty poměru světla na fotce jsou uvedené v tabulce 9. Hodnoty jsou vypsány na 5 desetinných míst.

Největší hodnoty jasu byly zjištěny u těles s optickými vlákny, které udávaly přibližně 73 procentní jas fotografie vypočtou uvedenou metodou. V naměřených vzorcích nebyla tloušťka materiálu významnou hodnotou pro přenos světla vzhledem odlišnosti 1 %. Proto jsou zjištěné hodnoty v souladu s teoretickou délkou přenosu světla optickým vláknem.

Tabulka 9: Výsledné hodnoty jasu upravených fotografií

Prvek	tl. [mm]	Poměr světla na fotografii	Procento jasu
B1	25	0,00449	<b>0,449 %</b>
	50	0,00444	<b>0,444 %</b>
B2	25	0,73233	<b>73,233 %</b>
	50	0,72349	<b>72,349 %</b>
B3	25	0,00798	<b>0,798 %</b>
	50	0,00381	<b>0,381 %</b>

U vzorků obsahující plastová vlákna byla vypočtena velmi nízká hodnota jasu a to 0,44 %. Výpočet jasu fotografie ukázal, že směs B1 není vhodná pro výrobu průsvitného betonu.

Pro vzorky s obsahem drceného skla byly vypočteny hodnoty jasu jako 0,79 % a 0,38 % pro tloušťky 25 respektive 50 mm. Naměřené hodnoty jsou velmi nízké. Pro využití drceného skla v průsvitných betonech je zapotřebí tenkých prvků s tloušťkou v řádech milimetrů. Pro prvky o větších rozměrech směs B3 není vhodná.

#### 4.4 Experiment č. 2 - Zabudování světelných zdrojů do průsvitné betonové konstrukce

Druhý experiment této práce se věnoval možnosti zabudování světelných zdrojů do průsvitné betonové konstrukce. Cílem experimentu bylo vyhodnotit, zdali zabetonované světelné zdroje budou vyzařovat světlo i z povrchu konstrukce. Pro tento experiment byly použity směsi B3 a B4.

##### 4.4.1 Příprava formy

Forma byla připravena dvojitá o vnitřní velikosti 410 x 200 mm a výšce stěny 50 mm. Do středu formy byl uložen pás pěnového polystyrenu jako přepážka mezi vzorky. Pomocí drátku se ve formě uchytil pás LED diod, aby každá řada obsahovala přibližně 10 diod. Diody byly z jedné strany umístěny v hloubce 25 mm a z druhé strany v hloubce přibližně 5 až 10 mm. Díky upevnění ve formě a metodě proplétání diodového pásku formou, bylo možné zkoumat, jak ovlivní výška betonového sloupce schopnost diody vyzařovat světlo ven z konstrukce. Forma s umístěnými LED diodami je zobrazena na obrázku 50



Obrázek 50: Forma s umístěnými LED diodami

#### 4.4.2 Proces betonáže, odbednění, příprava a zkoušení

Prvky byly betonované jako desky, tedy kolmo na nejužší směr formy. Vzorky byly odbedněny po 48 hodinách a zkoušení nastalo po 8 dnech od betonáže. Celkový betonový prvek je možné vidět na obrázku 51. Před zkouškou byla zkontrolována funkčnost světelných zdrojů. Zkoušky probíhaly vizuálně. Pro účely experimentu byla mezi prvky B3 a B4 ponechána přepážka.

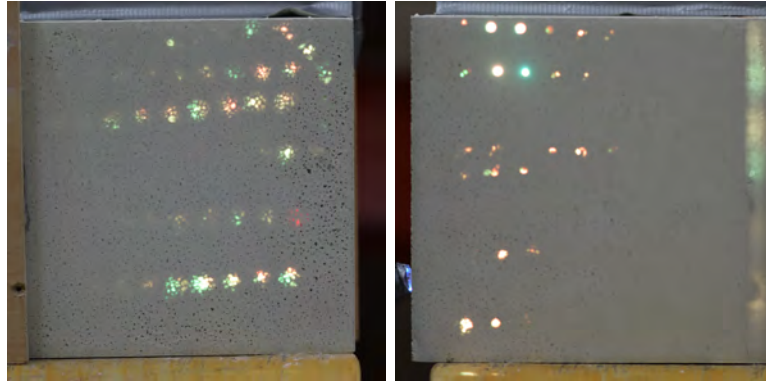


Obrázek 51: Výsledný povrch tělesa ze směsí B3 a B4

#### 4.4.3 Vyhodnocení svítivosti zabudovaných světelných zdrojů

Prvky ze směsí B3 a B4 se porovnávaly odděleně. Při umístění LED pásku do hloubky 25 mm nebylo zachyceno vyzařování světla z povrchu tělesa.

Při hloubce 5-10 mm od povrchu tělesa bylo zaznamenáno vyzařování světla z povrchu vzorků, jež je možné vidět na obrázku 52. V budoucích studiích je možné zkoumat změnu vyzařování světla při daných hloubkách uložení od povrchu. Na obrázku 53 jsou zobrazeny fotografie těles B3 a B4 pořízených v temné komoře s délkou expozice 1 sekunda.



Obrázek 52: Vyzařování světla LED diod z prvku s drceným sklem respektive kombinací drceného skla a plastových vláken



Obrázek 53: Fotografie z temné komory těles s drceným sklem respektive kombinací drceného skla a plastových vláken

## 5 ZÁVĚR

Průsvitný beton je mladý stavební materiál, který je stále vyvíjen a má velký potenciál pro budoucí použití. Technické instituce a firmy zabývající se průsvitným betonem se liší přístupem k problému, což přispívá k odlišným technickým výrobním řešením.

Teoretická část seznamovala čtenáře s problematikou betonových průsvitných materiálů a technologií jejich výroby. Díky různým technologickým přístupům k problému bylo možné se v experimentální části této práce zabývat průsvitností různých betonových směsí a různými technologickými postupy při snaze o vytvoření průsvitného betonu.

Experimentálně byla potvrzena nutnost průchodu světlo propustného prvku skrze konstrukci nepřerušeně, aby propustnost světla bylo možno spatřit pouhým okem. Pokud byly světlo propustné prvky zcela obaleny cementovým mlékem, lidské oko nebylo schopno zachytit prostoupené světlo.

Nejefektivnější směsí byla vyhodnocena směs se zabudovanými orientovanými optickými vlákny. Optická vlákna dokázala přenést světlo při denním osvětlení na stinnou stranu konstrukce v rastru, ve kterém byla vypletena. Prvky s optickými vlákny byly také nejlépe vyhodnoceny při zkoušce průsvitu světla prvkem v temné komoře.

Směsí s plastovými neusměrněnými vlákny či s drceným sklem vytvořily prvky, které na denním světle nevykazují průsvitnost. Vypočtené hodnoty jasu na fotografii byly velmi nízké, a proto využití drceného skla či plastových neusměrněných vláken v průsvitných betonech není vhodné.

Při používání skleněných prvků v betonu je značnou nevýhodou možná alkalicko-křemičitá reakce, která způsobuje předčasnou ztrátu pevnosti betonu. Reakci se dá zabránit využitím skleněných materiálů se sníženým podílem křemíku a zvýšeným podílem zirkonia, čímž zvýšíme odolnost skla v alkalickém prostředí. Nicméně při využití drceného odpadního skla nelze zaručit, že odpadní materiál má požadované složení a frakci. Tato skutečnost zabraňuje granulátu z drceného odpadního skla se stát plnohodnotnou alternativou konvenčního kameniva.

Na druhou stranu, při využití skleněného granulátu o požadovaném složení, lze vytvořit průsvitný beton se zabudovanými světelnými zdroji. Světelné zdroje mají dostatečnou svítivost, aby při zabudování do hloubky 5 až 10 mm osvětlily například nástupní a výstupní hrany schodiště, nebo jiná obdobná místa v budovách, kde je vhodné kontinuální tlumené osvětlení.

Za pomoci poznatků o průsvitném betonu lze říci, že technologie výroby a jeho vlastnosti umožňují využití průsvitného betonu jako stavivo pro tenké příčky, či jako podsvícený obklad.

Jako každý materiál má průsvitný beton mnoho kladů a záporů. Na rozdíl od již zavedených materiálů je průsvitný beton mladý a poutavý, což vede ke stále se zvyšujícímu počtu akademických prací věnující se této problematice.



## Seznam literatury

- [1] COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2009. Betonové stavitelství. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [2] Historie betonu. *EBETON* [online]. Praha: Sunnysoft, 2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/historie-betonu>
- [3] Sklobeton (konstrukce): Sklobetonové konstrukce. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 14. 05. 2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sklobeton\\_\(konstrukce\)#Sklobetonov\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{e\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\begin\group\end\group\relax\let\ignorespaces\relax\accent19e\egroup\spacefactor\accent@spacefactor\\_konstrukce](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sklobeton_(konstrukce)#Sklobetonov\unhbox\voidb@x\bgroup\let\unhbox\voidb@x\setbox\@tempboxa\hbox{e\global\mathchardef\accent@spacefactor\spacefactor}\let\begin\group\end\group\relax\let\ignorespaces\relax\accent19e\egroup\spacefactor\accent@spacefactor_konstrukce)
- [4] A Brief History And Future Use of Translucent Concrete. *SPECIFY concrete* [online]. Harrisburg: Pennsylvania Aggregates and Concrete Association, c2021, 30 July 2019 [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.specifyconcrete.org/blog/a-brief-history-and-future-use-of-translucent-concrete>
- [5] 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.
- [6] OPTICAL FIBER. *Newport* [online]. Praha: MIT, c2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.newport.com/t/fiber-optic-basics>
- [7] ČSN EN 206+A1. *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [8] BROUKALOVÁ, Iva. *Aplikace cementových a betonových kompozitů v konstrukčních prvcích*. Praha, 2017. Habilitační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí.
- [9] FAJFROVÁ, Zuzana. LiCrete® - kombinace nadčasovosti a efektivity. *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-efektivity>
- [10] LiCrete®: *Transparent concrete* [online]. ČR: LiCrete s.r.o, c2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://licrete.com>



- [11] 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)
- [12] 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.
- [13] 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
- [14] 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)
- [15] MOMIN, A.A., R.B. KADIRANAIKAR, 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.
- [16] 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/>
- [17] 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)
- [18] 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.
- [19] 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://ijisaset.com/vol14/v4s6/IJISSET\\_V4\\_I06\\_25.pdf](http://ijisaset.com/vol14/v4s6/IJISSET_V4_I06_25.pdf)
- [20] Mikrobeton nebo mikro cement: Výhody a nevýhody. *Xtarh* [online]. ČR: xtarh, c2021, 23. prosince 2020 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <http://xtarh.com/mikrocement-nebo-mikrobeton-co-to-je-vyhody-a/>

- [21] Rocalite Translucent Concrete. Artstor [online]. ITHAKA, c2000-2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://library.artstor.org/#/public/30054767>
- [22] 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.
- [23] 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>
- [24] 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/>
- [25] LiCrete®: beton propouštějící světlo. *Stavební investorské noviny* [online]. Zlín: SNI, c2010-2021, 26.11.2014 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/clanek/3212-licreter-beton-propoustejici-svetlo/#>
- [26] 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>
- [27] JIN, Weihua; MEYER, Christian; BAXTER, Stephen. "Glascrete"-Concrete with Glass Aggregate. *ACI Materials Journal*, 2000, 97.2: 208-213. Dostupné z: <http://www.columbia.edu/cu/civileng/meyer/publications/publications/56.pdf>
- [28] ALTLOMATE, Abdelmajeed. Experimental study of light-transmitting concrete. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*. 2017, 7(3-4), 133-139. ISSN 2093-761X. Dostupné z: doi:10.1080/2093761X.2016.1237396 Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/309754932\\_Experimental\\_study\\_of\\_light-transmitting\\_concrete](https://www.researchgate.net/publication/309754932_Experimental_study_of_light-transmitting_concrete)
- [29] HALBINIAK, Jacek; SROKA, Paulina. Translucent concrete as the building material of the 21st century. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 2015, 15.1.
- [30] PCB. *Electrical Engineering* [online]. London: Stack Exchange, c2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://electronics.stackexchange.com/questions/173120/how-to-place-items-onto-a-blank-pcb>

- [31] ALTLOMATE, Abdelmajeed, et al. *Experimental study of light-transmitting concrete. International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 2016, 7.3-4: 133-139.
- [32] BASHBASH, Basma F., et al. Basics of light transmitting concrete. *Global Advanced Research Journal of Engineering, Technology and Innovation*, 2013, 2.3.
- [33] BHANUSE, Urmila M.; BABAR, Abhijeet B.; RANVEER, Anil C. Smart light translucent concrete by using optical fiber. *J. Environ. Sci. Comput. Sci. Eng. Technol*, 2015, 5.1: 10-18.
- [34] TUAUM, Awetehagn. Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete. *International Journal of Applied Engineering Research*. India: RIP, 2018, 2018(2), 1209-1218. ISSN 0973-4562.
- [35] Litracon Classic. *Litracon* [online]. Maďarsko: Litracon, c2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <http://www.litracon.hu/en/products/litracon-blokk>
- [36] *LUCEM* [online]. Aachen, Germany: LUCEM, C2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://lucem.com>
- [37] *LUCCON* [online]. Götzis, Austria: LUCCON A BRAND OF CRE PANEL, C2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <http://www.luccon.com>
- [38] I.light: Italcementi Group. *Yumpu* [online]. Switzerland: Yumpu, c2021, s. 1-6 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/en/document/read/23571483/i-light-italcementi-group>
- [39] Translucent Concrete: Collaboration with BrightWall. *UN-Studio* [online]. Amsterdam, Nizozemsko, c2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.unstudio.com/en/page/5885/translucent-concrete-collaboration-with-brightwall>
- [40] ZIELIŃSKA, Monika a Albert CIESIELSKI. Analysis of Transparent Concrete as an Innovative Material Used in Civil Engineering. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2017, 245 [cit. 2021-5-10]. ISSN 1757-8981. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/245/2/022071
- [41] Italian Pavilion - Expo Shanghai 2010, China. *HeidelbergCement Group* [online]. Germany: HeidelbergCement, c2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.heidelbergcement.com/en/italian-pavilion-shanghai>
- [42] Lichtbeton besticht mit Charme und Transparenz. *ARCHITECTENWELT* [online]. Luzern: Agentur belmedia, c2021 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://architektenwelt.com/lichtbeton-besticht-mit-charme-und-transparenz/>

## Seznam obrázků

1	Výplň otvoru sklobetonem [3]	10
2	Skladba optického vlákna [6]	12
3	Prefabrikovaný betonový blok od firmy LiCrete [10]	13
4	Prefabrikovaný betonový plát i.light [11]	13
5	Postup výroby bloků LiTraCon [12]	14
6	Schéma formy pro protahování průsvitných prvků [14]	15
7	Blok průsvitného betonu firmy Rocalite [21]	16
8	Tkanina z optických vláken [23]	17
9	Uložení tkaniny do formy [23]	17
10	Uložení tkaniny pomocí zabudované výztuže [23]	17
11	Řez vzorkem po vytvrnutí směsi [23]	18
12	Příklad vzorku s využitím tyčinek z polymeru [24]	18
13	Postup výroby betonu LiCrete [25]	19
14	Příklady konstrukcí s využitím odpadního skla [26]	20
15	Dřevěná forma s přepážkami [28]	21
16	Ocelová forma s přepážkami [29]	21
17	Deska plošných spojů [30]	22
18	Výsledky zkoušky pevnosti v tahu za ohybu [32]	24
19	Příčka z panelů Litracon [35]	26
20	Dlažební kostka s podsvícením od firmy Lucem [36]	26
21	Podsvícená venkovní dlažba Lucem [36]	26
22	Příklad obložení panelu z průsvitného betonu [37]	27
23	Blok průsvitného betonu Licrete [10]	27
24	i.light průsvitný betonový panel [38]	28
25	Izolační sendvičový panel [39]	28
26	Evropská brána za nočního osvětlení [40]	29
27	italský pavilon na EXPO 2010 [41]	29
28	Fasádní obložení prvky Lucem [42]	30
29	Ukázka frakcí kameniva	32
30	Balíček plastových vláken s ukázkou jednotlivých vláken	33
31	Drcené sklo frakce 2-4 a 4-7 mm	33
32	Čerstvý beton směsi B1	36
33	Čerstvý beton směsi B2	36
34	Čerstvý beton směsi B3	37
35	Rastr 15 x 15 po 10 mm	37
36	Vypletená forma proti dennímu světlu	38
37	Vybetonované formy B2 a B3	38
38	Těleso B1	39
39	Těleso B2	39
40	Těleso B3	39
41	Povrch těles B3 před a po broušení	39
42	Těleso B1 o tl. 25 mm: 0,2 s; 1 s; 5 s a 15 s	40
43	Těleso B1 o tl. 50 mm: 0,2 s; 1 s; 5 s a 15 s	40
44	Těleso B2 o tl. 25 mm: 0,2 s; 1 s; 5 s a 15 s	41
45	Těleso B2 o tl. 50 mm: 0,2 s; 1 s; 5 s a 15 s	41

46	Těleso B3 o tl. 25 mm: 0,2 s; 1 s; 5 s a 15 s . . . . .	41
47	Průsvit tělesa B1 . . . . .	42
48	Průsvit tělesa B2 . . . . .	42
49	Průsvit tělesa B3 . . . . .	42
50	Forma s umístěnými LED diodami . . . . .	44
51	Výsledný povrch tělesa ze směsí B3 a B4 . . . . .	44
52	Vyzařování světla LED diod z prvku s drceným sklem respektive kombinací drceného skla a plastových vláken . . . . .	45
53	Fotografie z temné komory těles s drceným sklem respektive kombinací drceného skla a plastových vláken . . . . .	45

## Seznam tabulek

1	Výsledky tlakové zkoušky . . . . .	23
2	Data . . . . .	31
3	Data . . . . .	31
4	Charakteristiky plastových vláken . . . . .	32
5	Složení betonové směsi B1 - plastová vlákna . . . . .	34
6	Složení betonové směsi B2 - optická vlákna . . . . .	35
7	Složení betonové směsi B3 - drcené sklo . . . . .	35
8	Složení betonové směsi B4 - kombinace drceného skla a plastových vláken . . . . .	36
9	Výsledné hodnoty jasů upravených fotografií . . . . .	43

## Seznam příloh

- Příloha 1 Technický list CEM 52
- Příloha 2 Technický list kameniva frakce 0,2-1 mm
- Příloha 3 Technický list kameniva frakce 1-2 mm
- Příloha 4 Technický list superplastifikátoru

## Prohlášení o vlastnostech


Č. 9806/01-DoP

<b>1. Jedinečný identifikační kód typu výrobku :</b>		
AALBORG WHITE® cement – Portlandský cement EN 197-1:2011 – CEM I 52,5 R – SR 5		
<b>2. Zamýšlené použití / zamýšlená použití::</b>		
Příprava betonu, malty, injektážní malty a jiných směsí pro stavění a pro výrobu stavebních výrobků		
<b>3. Výrobce:</b>		
Aalborg Portland A/S, Rørdalsvej 44, 9220 Aalborg, Dánsko		
<b>4. Zplnomocněný zástupce:</b>		
Netýká se.		
<b>5. Systém / systémy POSV:</b>		
Systém 1+		
<b>6. Harmonizovaná norma:</b>		
EN 197-1:2011 Certifikace Bureau Veritas – identifikační číslo 0615		
<b>7. Deklarované vlastnosti:</b>		
Základní vlastnosti	Funkčnost	Harmonizované technické specifikace
Hlavní složky a složení	Portlandský cementový slínek 95–100 % Doplňující složky v menším množství 0–5 %	EN 197-1:2011
Pevnost v tlaku: 2 dny 28 dnů	≥ 30,0 MPa ≥ 52,5 MPa	
Počáteční doba tvrdnutí	≥ 45 min	
Nerozpustný zbytek	≤ 5,0 %	
Ztráta žíháním	≤ 5,0 %	
Objemová stálost - Rozpínání - Obsah SO <sub>3</sub>	≤ 10 mm ≤ 3,5 %	
C <sub>3</sub> A	≤ 5 %	
Obsah chloridů	≤ 0,10 %	

8. Vlastnosti výše uvedeného výrobku jsou ve shodě se souborem deklarovaných vlastností. Toto prohlášení o vlastnostech se v souladu s nařízením (EU) č. 305/2011 vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného výše.

Aalborg, 12. prosinec 2017

Podepsáno v zastoupení a jménem výrobce:

  
 Aalborg Portland  
 Postboks 165  
 9100 Aalborg

Henriette Charlotte Nikolajsen, vedoucí oddělení ochrany životního prostředí,  
 energie a systémů řízení kvality Aalborg Portland A/S





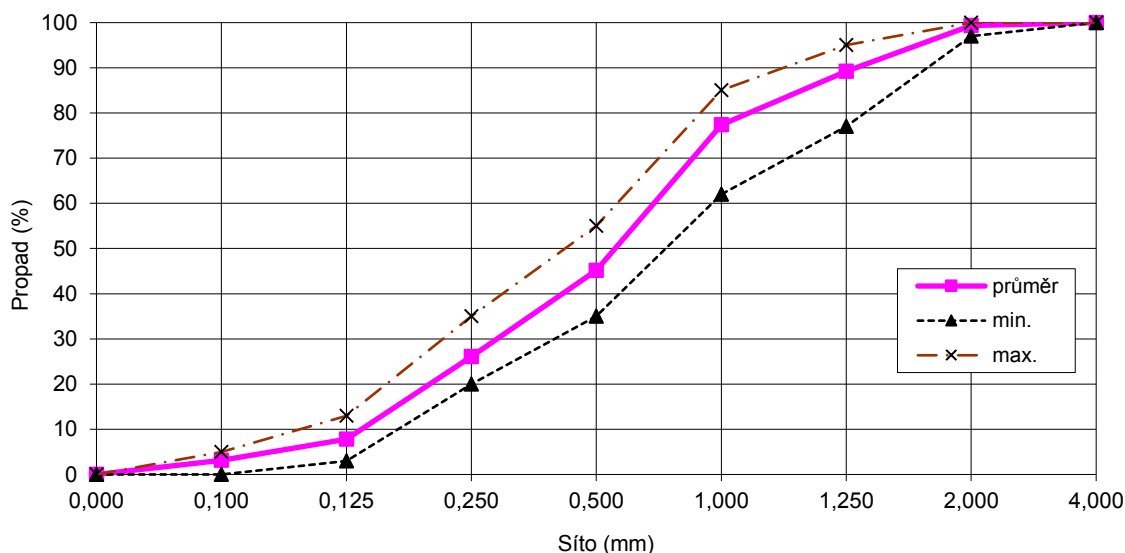
# TECHNICKÝ LIST

**Název:** Křemenný písek VL1

**Charakteristika:** praný, tříděný křemenný písek, frakce 0,1/1,2 mm

**Použití:** Písek je použitelný ve všech oblastech stavebního průmyslu pro výrobu betonu, štukové omítky. Dále je možné tento písek využít při výstavbě sportovišť, jako jsou beach volejbalová hřiště, golfová hřiště apod.

Propadová zrnitostní křivka



Sypná hmotnost – volně sypaná	<b>1 440 kg/m<sup>3</sup></b>
Sypná hmotnost – setřesená	<b>1 630 kg/m<sup>3</sup></b>
Obsah SiO <sub>2</sub>	<b>min. 98,0%</b>
Obsah Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>max. 0,3%</b>
Obsah Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>max. 1,3%</b>
Vlhkost	<b>max. 13%</b>

**Výhody:**

1. Kvalitní vstupní surovina.
2. Stabilní zrnitostní křivka.
3. Světlá barva.
4. Velice dobrá zpracovatelnost.

**Balení:** Volně ložený materiál.

**LB MINERALS, s.r.o.,**  
 pracoviště Skalná  
 Tovární ul. 270  
 351 34 Skalná  
 Česká republika

www.lb-minerals.cz, e-mail: minerals@cz.lasselsberger.com, tel: +420 354 505 127

Vydáním nového technického listu ztrácí tento výtisk platnost.

Aktualizace 05/2018



**TECHNICKÝ LIST:****PŘÍRODNÍ KŘEMIČITÉ PÍSKY n****POPIS:**

Přírodní křemičité písky se vyrábí z velmi kvalitních světlých křemičitých písků. Vysoká kvalita je zaručena pečlivou kontrolou vstupních surovin, písky jsou prané, sušené a tříděné. Obsah SiO<sub>2</sub> je 95 – 99,8%, vlhkost křemičitého písku je do 1%.

Písky se vyznačují vysokou mechanickou odolností, stejnoměrným rozdělením zrn a vysokou chemickou odolností.

**POUŽITÍ:**

Ve stavebnictví k výrobě stavebních tmelů, lepidel, pryskyřičných směsí a speciálních sanačních betonů, jako filtrační písek do pískových filtrací bazénů, v zahradnictví a zoologii, pro tvorbu kamínkových kobereců, do tryskacích zařízení, na zásyp zámkové dlažby. Vybrané zrnitosti pro zásyp přírodních travníků a pro zásyp umělých sportovních povrchů.

**VLASTNOSTI:**

- Přesná granulometrie a konstantní stavba zrna
- Chemická odolnost i v agresivním prostředí
- Odolnost vůči UV záření a povětrnostním podmínkám
- Široká nabídka zrnitostí
- Bez organického znečištění

**ZRNITOSTI:**

Přírodní křemičité písky jsou dodávány v těchto základních zrnitostech:

- 0,1 – 0,3 mm
- 0,1 – 0,5 mm
- 0,2 – 0,8 mm
- 0,4 – 0,8 mm
- 0,6 – 1,2 mm
- 0,8 – 1,2 mm
- 1,0 – 1,6 mm
- 1,4 – 2,0 mm
- 2,0 – 3,0 mm
- 2,0 – 4,0 mm
- 3,0 – 5,0 mm
- 4,0 – 8,0 mm

Speciální zrnitost: 0,2 – 2,0 mm /pro zásyp přírodních travníků/

Křemičitá moučka: < 0,2 mm

*Písky je možné dodávat i v jiných zrnitostech na základě přání zákazníka.*

