



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A
DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

TECHNOLOGIE PRŮSVITNÝCH
ARCHITEKTONICKÝCH BETONŮ

TECHNOLOGY OF TRANSLUCENT ARCHITECTURAL CONCRETE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Aneta Adámková

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

prof. Ing. RUDOLF HELA, CSc.

SUPERVISOR

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607R020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Aneta Adámková
Název	Technologie průsvitných architektonických betonů
Vedoucí práce	prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

Datum zadání 30. 11. 2019

Datum odevzdání 22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA,
dr.h.c.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ČSN EN 206+A1 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

ČSN P 73 2404/Z1 - Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplnující informace

Sborníky z českých a mezinárodních konferencí

České a zahraniční časopisy

Internetové zdroje, Science Direct apod.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Využívání architektonických betonů v moderním stavitelství je na celém světě stále více rozšířené. Ovšem v náročných požadavcích architektů se už nevystačí pouze s běžnými betonovými hladkými pohledovými betonovými povrchy. Současné požadavky vyžadují ztvárnění povrchů různými úpravami např. leptáním, obtisky profilů vložených matic, či tzv. fotobetony s úpravami Artico Neo, fotogravura atd. Velmi zajímavým a v ČR zatím prakticky nepoužívaným ztvárněním architektonického výrazu betonových staveb je využití optických či plastových vláken, které vedou světlo. Toto umožní vyrobit částečně průsvitné plochy v betonových konstrukcích. Princip použití těchto vláken je již několik let znám, ovšem jejich praktické využití je zatím minimální. Problematické je zajistit cílené uspořádání vláken, např. vytvoření obrazce a zajištění průchodu světla při odhalení konců vláken.

Cílem bakalářské práce bude sestavit obšírnou rešerži zahraničních poznatků o tomto řešení. Hlavně zjistit výrobce použitelných typů vláken, jejich dostupnost včetně cen a dále možnosti jejich kotvení a uspořádání v monolitických či prefabrikovaných konstrukcích a nároky na použité betony.

V praktické části pak vyrobit vzorky průsvitných betonů se zajištěním požadovaných obrazů a průsvitnosti na deskách formátu 200x200 mm a tloušťky do 40 mm. Ověřit možnosti finální úpravy povrchů betonů pro odhalení vláken - broušení, vymývání atd.

Rozsah práce max. 60 stran textu

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou průsvitných betonů. Cílem byl návrh postupu výroby průsvitného betonu. Teoretická část byla sestavena ze zahraničních poznatků, které vedli k posouzení dostupnosti a ceny optických vláken v ČR. Experimentální část se zabývá samotnou problematikou výroby s využitím různých druhů kotvení a výběrem vhodného průměru optického vlákna ze tří zkoušených průměrů. V závěru jsou uvedeny poznatky, které vedli k návrhu postupu výroby, a samotný navržený výrobní postup.

KLÍČOVÁ SLOVA

Architektonické betony, průsvitné betony, optická vlákna, připevňování vláken, samozhutnitelné betony, povrchové úpravy, aplikace, průsvitnost, ...

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with problems of light transmitting concrete. The aim was to design a process for the production of light transmitting concrete. The theoretical part was compiled from foreign knowledge, which led to an assessment of the availability and price of optical fibers in the Czech Republic. The experimental part deals with the issues of different types of anchors in production and the selection of adequate diameter of the optical fiber from the three tested diameters. In the conclusion are the findings that led to the design of the production process that is also described.

KEYWORDS

Architectural concrete, light transmitting concrete, fiber optics, attachment of fibers, self-compacting concrete, surface treatment, application, light transmittance, ...

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Aneta Adámková *Technologie průsvitných architektonických betonů*. Brno, 2019. 90 s.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Technologie průsvitných architektonických betonů* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 12. 2019

Aneta Adámková

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Technologie průsvitných architektonických betonů* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 12. 2019

Aneta Adámková

autor práce

Poděkování:

Chtěla bych velmi poděkovat vedoucímu mé práce prof. Ing. Rudolfovi Helovi, CSc., za podporu v této složité době a za vhodné připomínky při zpracování této bakalářské práce.

Také bych chtěla poděkovat Ing. Richardu Dvořákovi za konzultace, společné měření a cenné rady spojené se zpracováním experimentální části této práce.

Na závěr bych chtěla poděkovat všem zaměstnancům ústavu THD, kteří byli nápomocni při výrobě jednotlivých zkušebních těles.

OBSAH

1	CÍL PRÁCE	12
2	ÚVOD	13
3	TEORETICKÁ ČÁST	14
3.1	Průsvitný architektonický beton	14
3.2	Technologie výroby	17
3.3	Příprava kompozitu	21
3.3.1	Prvky používané pro vedení světla.....	21
3.3.1.1	Sklo a skleněné tyčinky	21
3.3.1.2	Plastová tělíska a tyčky	21
3.3.1.3	Optická vlákna.....	23
3.4	Matrice	32
3.4	Příprava formy a přichycení vláken	35
3.4.1	Faktory ovlivňující podobu formy průsvitných betonů	38
3.4.2	Uchycení vláken.....	38
3.4.2.1	Protahování.....	38
3.4.2.2	Zabodávání	39
3.4.2.3	Tkanina	39
3.5	Odformování	40
3.6	Odhalování vláken, finální úpravy.....	40
3.6.1	Broušení a leštění	41
3.7	Vlastnosti průsvitných betonů.....	41
3.7.1	Pevnost v tlaku.....	42
3.7.2	Pevnost v tahu za ohybu.....	43
3.7.3	Objemová hmotnost	44
3.7.4	Průsvitnost	44
3.7.4	Ostatní	47
3.7.4.1	Povrch optických vláken a SEM	47
3.7.5	Výhody průsvitných betonů	49
3.7.6	Nevýhody.....	49
3.7.7	Porovnání s obyčejnými betony.....	49
3.8	Dostupnost optických vláken v ČR.....	49
3.9	Aplikace	51
4	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	56
4.1	Cíl	56

4.2	Vstupní suroviny.....	56
4.2.1	POF	56
4.2.2	Cement	57
4.2.3	Kamenivo.....	57
4.2.4	Plastifikační přísada	57
4.2.5	Příměs	57
4.2.6	Voda	58
4.3	Ověření způsobu připevňování POF	58
4.3.1	Metodika výroby	58
4.3.2	Složení betonové směsi	59
4.3.3	Vyhodnocení připevnění POF	59
4.4	Stanovení průsvitnosti	60
4.4.1	Metodika výroby	60
4.4.2	Zkoušení prostupu světla	61
4.4.2.1	Zkoušení průsvitnosti – grafické znázornění.....	62
4.4.3	Zkoušení průsvitnosti pro jednotlivé vlákna	65
4.4.3.1	Zkoušení průsvitnosti pro jednotlivé vlákna – grafické znázornění.....	66
5	ZÁVĚR.....	72
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	75
6.1	Seznam použité literatury:.....	75
6.2	Použité zdroje obrázků:.....	78
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	81
8	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	82
8.1	Seznam obrázků	82
8.2	Seznam tabulek	83
8.3	Seznam grafů.....	84
8.4	Seznam příloh	85

1 CÍL PRÁCE

Bakalářská práce se zabývá problematikou průsvitných betonů. Cílem práce je sestavení rešerší ze zahraničních poznatků týkajících se této problematiky, s důrazem na způsoby kotvení a uspořádání průsvitných prvků, dostupnost optických vláken včetně jejich cen a možných výrobců, požadavky na betonovou matici a stanovení průsvitnosti prvků.

Teoretická část se zaměřuje na uvedení do problematiky a seznámení se s materiálem. Kladen je důraz především na optická vlákna, způsoby kotvení vláken, technologický proces výroby, požadavky na matici, dostupnost optických vláken a vlastnosti průsvitných betonů. Řeší i možné aplikace, výhody průsvitných betonů a úpravu povrchu.

Experimentální část je zaměřena na ověření vybraných způsobů kotvení optických vláken, ze kterých se stanoví návrh postupu výroby a na posouzení průsvitnosti s ohledem na velikost, rozmístění a hustotu vláken umístěných ve výrobcích. Vybrané způsoby kotvení byly protahování zaboďování a volné vkládání. Pro tuto sadu vzorků se sestavila receptura, která kladla důraz na tekutost směsi. Z těchto způsobů byl jeden vybrán pro výrobu zkušebních vzorků pro zkoušení průsvitnosti a pro návrh postupu výroby. Průsvitnost se stanovila na sedmi vzorcích o třech různých průměrech optických vláken. Pro všechny průměry byly zhotoveny vzorky s počtem vláken 25 a 64, pro průměr 1 mm byl navíc zhotoven vzorek se 196 vlákny. Cílem je vybrat vhodný průměr pro výrobu průsvitných betonů.

2 ÚVOD

Architektonický beton neboli pohledový beton je každý betonový povrch, který zůstává trvale nezakrytý a vytváří spolu s celou budovou kladný estetický dojem. Na architektonické betony jsou kladeny speciální požadavky týkající se jeho vzhledu. Tyto požadavky ale nejsou nikde pevně sepsány, jedná se o specifické požadavky vázány na konkrétní stavební díla. [1]

Bereme-li architekturu jako projev umění tak stejně jako jiné umělecké činnosti potřebuje mít svou volnost. Pro různé postupy úpravy jako je broušení, hlazení, vymývání a pemrlování dosáhneme různých vzhledů. Každá s těchto úprav je něčím typická a existují měřitelná kritéria jako barva, hloubka důlku, výška výstupku atd. Bylo by možné pro každou úpravu specifikovat kritéria a zařadit do nich daný architektonický beton. V případech, kdy ale chce architekt docílit originálního a svěžího vzhledu by byly tyto specifikace svazující. Stejně jako malíř potřebuje volnost pro vytvoření mistrovského díla i architekti potřebují svobodu při tvorbě vzhledu betonových ploch. Dokud jsou dodrženy všechny předpisy jako je použitelnost, stabilita, trvanlivost neměla by se volnost ve vzhledu architektonických betonů omezovat. [1]

Stejně jako společnost roste a rozvíjí se i vzhled a podoba betonových ploch se mění. Už není jako dříve, že beton byl spojován pouze s šedou barvou naopak v dnešní době není neobvyklé mít betonové plochy jiných barev. Obnažené plochy už nejsou jen otiskem svého bednění, ale dají se dále upravovat ať už zručným kamenickým opracováním nebo za použití chemikálií. Pečlivě se vybírá kamenivo do architektonických betonů nebo se přidávají i jiné materiály pro ještě přitažlivější vzhled. [1]

Není divu, že touha po nových architektonických betonech dala vzniku i průsvitným betonům. Dostat a spojit beton s něčím, co už ze svojí podstaty nemá a to světlo. Doteď bylo možné dostat přirozené denní světlo do objektu jen pomocí oken, otvorů ve stěnách nebo za pomocí světlíků. Průsvitné betony díky spojení optických vláken a betonové matrice jsou schopny dostat určité množství denního světla do objektu taktéž. Mohou také světlo dále rozvádět objektem do míst, kde je instalace oken nemožná. Takle nová jedinečná vlastnost dává architektům nový druh betonu, na kterém mohou ukázat svoji kreativitu. S nabitím nové vlastnosti, a to průsvitnosti jde ruku v ruce i značná nevýhoda a to především pracnost s velkou částí ruční práce a vysokou cenou. [2]

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Průsvitný architektonický beton

Beton je materiál, který je pravděpodobně nejužší spojený s každodenním životem. Za poslední 100 let byl často upřednostňován jako hlavní stavební materiál ve stavebnictví. V posledních letech dochází k jeho vývoji a spojování technologie betonů s jinými technologiemi pro uspokojení estetických nároků způsobených vývojem společnosti. Architektonické betony jsou široce využívány architekty jak pro účely nosných konstrukcí či designových prvků jako fasádní obklady. Poskytují originální vzhled a neomezené možnosti použití, volbě textury a přispívají k rozvoji moderní architektury. Díky své robustnosti nabízí dobrou ochranu a splňují mechanické, fyzikální i vizuální parametry, které jsou na ně kladeny. Beton je trvanlivý materiál, který nevyžaduje během své životnosti náročnou údržbu. Zástupci moderních architektonických betonů jsou například reflexní betony, betony s úpravou Artico Neo, fotogravura a průhledné či průsvitné betony. [2, 3]

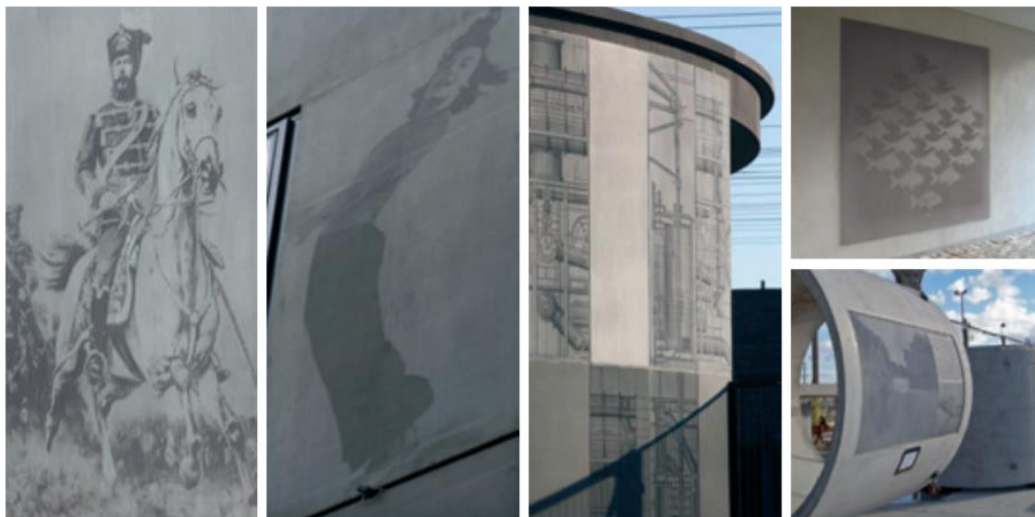
Reflexní betony na trhu známé pod značkou BlingCrete nabízí vysoký designový potenciál. Jedná se o prefabrikované výrobky z vysokopevnostních betonů v kombinaci se skleněnými kuličkami na povrchu. Kuličky mohou být na povrchu rozmístěny nahodile nebo dodržovat zvolený motiv, je možné i kombinovat různé velikosti kuliček. Velikost jednotlivých kuliček se pohybují od 0,7 mm do 7 mm, standardně se používají kuličky o průměru 2 mm. Ukázka výrobků je zobrazena na obrázku O01. [4]



Obr. O01: Referenční vzory BlingCrete [O01]

Architektonické betony s úpravou Artico Neo se vyrábějí za pomoci do bednění vloženého filmu, potištěného zpomalovačem tuhnutí, díky tomu lze na betonové povrchy natrvalo a podrobně aplikovat vlastní design. Cementový tmel, který se dostane do styku se zpomalovačem tuhnutí se zpomalí, zatímco ostatní normálně vytvrdne. Následně se po cca 24 hodinách povrch vymyje a je odkryta struktura betonu. Hloubka vymývání je různá, závisí na koncentraci a dávce zpomalovací přísady, obvykle 1,5 mm. Vhodný výběr plniv ovlivňuje kontrast mezi hrubým a vymytým povrchem betonu. Jedná se o prefabrikovanou výrobu, fotografie a obrazce se promítají v pixelech a velikost bodů závisí na hlavním obrazu a vzdálenosti pohledu. [5]

Fotogravura vzniká za pomoci počítačového programu, který převádí data na archové materiály pomocí technologie frézování, výsledný produkt je zobrazen na obrázku O02. Obraz se nejprve oskenuje a převede do 256 odstínů šedi a následně je generován jako soubor identifikovaných šedých ploch s příkazy pro speciální CNC frézku. Vzniklý vyfrézovaný model je ekonomicky efektivní a opakovatelně použitelný. Na povrchu lze vytvořit jakýkoliv obraz, který je ve standardních grafických formátech. Velikost prvků je omezena maximálním rozměrem modelu a maximální frézovanou plochou. Větší obrazy se dělají spojením více desek. Nevýhodou je spoj zasahující do svislého rýhování, který způsobí horší viditelnost navazujícím čarám obrazu. [6]



Obr. O02: Fotogravura [O02]

Průsvitný beton byl poprvé zmíněn roku 1935 v kanadském patentu. Vyvinul ho, ale maďarský architekt Áron Losconzi v roce 2002, následně založil firmu s názvem Litracon a tím dal i novému materiálu jméno. Litracon neboli průsvitný beton je materiál s vysokým obsahem optických vláken, které jsou v betonu uspořádány do úseček pro propuštění světla stěnou betonu. Architektům se tak otevřela nová cesta při navrhování budov s možností vedení světla do uzavřených prostor. [2, 7, 8] Hlavní účel tohoto materiálu je úspora energie pomocí přirozeného denního světla a snížení množství tepla vyrobeného z umělého osvětlení. Prvními výrobky z průsvitného betonu byly leštěné prefabrikované bloky z vlákno betonu, kompozice byla 96 % betonové matrice a 4 % optických vláken. Jejich pevnost v tlaku činila 50 MPa a v tahu za ohybu 7 MPa. Litracon pro své výrobky použila a stále používá skleněná optická vlákna. Tyto vlákna mohou být distribuována náhodně i ve formě konkrétních vzorů. [2, 7, 9]

První referenční stavbou Litraconu, která je zobrazena na obrázku O03, je hlavní vchod muzea Cella Septochora ve městě Pécs v Maďarsku. Bloky jsou osazeny v ocelovém rámu a mají tloušťku 10 cm, celá konstrukce má hmotnost 2 tuny. [10]



Obr. O03: Cella Septochora [O03]

Jednou z posledních staveb je interaktivní betonová zeď You Are Energie z bloků Litracon Classic, která je zobrazena na obrázku O04. Tato zeď je osvětlena zevnitř, když na ni zapůsobí síla. Návštěvníci islandské elektrárny, kde se tenhle exponát nachází, jsou vyzváni pro vyvolání tlaku na stěnu, aby vyvolali světelný výbuch. [10]



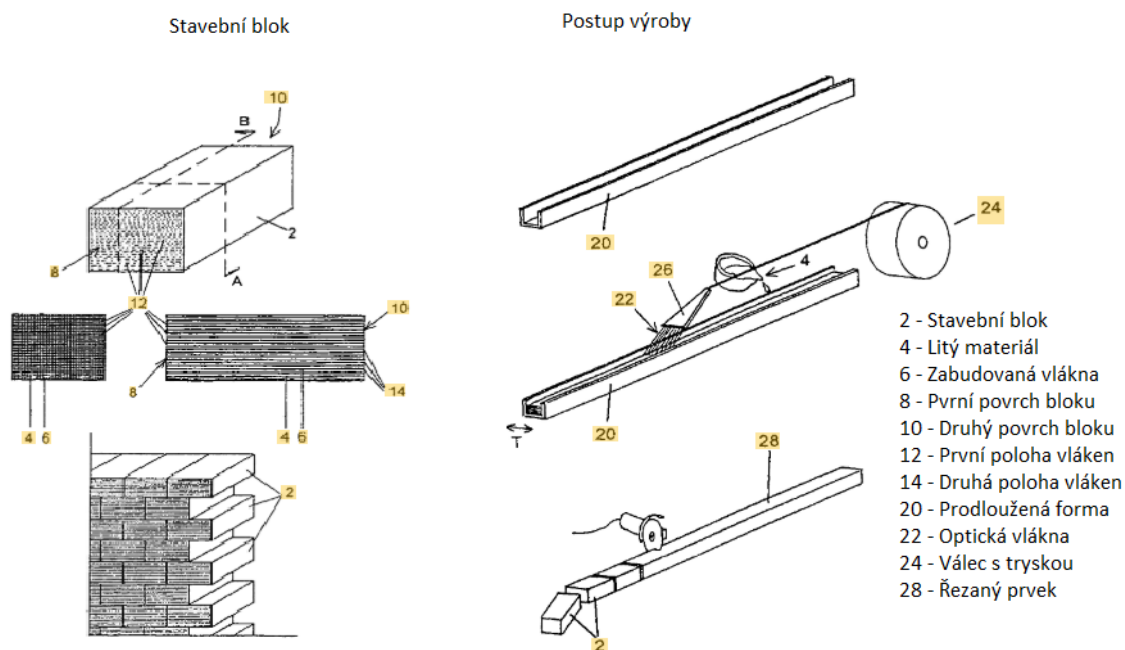
Obr. 004: You Are Energie [O04]

Průsvitný beton se stal jedním z oblíbených materiálů v USA a částech Evropy, díky tomu že dává betonu novou funkčnost a zvyšuje spokojenost uživatele i přes vysokou cenu. Má ale značné nevýhody. Skutečnost, že se desítky tisíc tenkých optických vláken upevňují ručně v přímých liniích a práce související s výrobou a přepravou je neefektivní vzhledem k velké objemové hmotnosti betonu (2300 kg/m^3). V dnešní době existuje mnoho studií věnovaných zvyšování vlastností průsvitných betonů. Existují i různé materiály, které nahrazují optická vlákna jako sklo nebo průsvitný kámen. [2, 11]

3.2 Technologie výroby

Průsvitný beton se skládá z betonové matrice a průsvitných prvků, které vedou světlo z jednoho konce prvku na druhý. Od prvního umístění průsvitných betonů až do dneška bylo vymyšleno mnoho druhů postupu výroby průsvitných betonů. Prvním technologickým postupem patentovaným Áronem Losconzím je volné vkládání skleněných optických vláken do betonové směsi, zobrazeno na obrázku O05. V prodloužené formě se jako první přidá odlívaný materiál (betonová směs, cementová malta). Ve druhém kroku se přidá vrstva optických vláken uspořádaná v podélném směru formy. Poté je forma vystavena mechanickému tlaku nebo vibracím, tím vlákna klesnou do odlitého materiálu do požadované hloubky. To se opakuje dokud forma není zcela naplněna betonem a optickými vlákny. Každá vrstva obsahuje 20 a více paralelně umístěných vláken. Vlákna jsou přidávána do forem nepřetržitě za pomoci válce s tryskou, která zajišťuje rovnoměrné rozdělení vláken v příčném směru formy. Po ztuhnutí materiálu se rozdělí za pomoci řezačky na samostatné bloky např. 250 mm, 120 mm a 60 mm. Řeže se tak, aby na řezné ploše byly vidět kulaté profily optických vláken.

Konečný počet vláken v jednom bloku se pohybuje kolem několika stovek, ideální je, když prvek obsahuje 4 až 5 % vláken objemově. Plochy se pak podle potřeby leští. [12, 13]



Obr. 005: Schéma výroby LTC [O05]

Tato technologie má výhodu v tom, že se vlákna nemusí vkládat ručně a není zapotřebí speciálních forem. Touto metodou je však nemožné dodržet konkrétní vzor, protože nelze zaručit, že se vlákna při lití směsi a vibrování nepohnou se svých původních pozic. Je možné vyrábět jak nosné, tak nenosné prvky se zárukou všech mechanických požadavků, které jsou na ně kladeny. [12, 13, 14]

Existuje i varianta, kde se místo vláken používá tkanina z tkaných vláken. Vlákna se dají ukládat i jednotlivě a ručně do forem, tkaná vlákna vznikla pro urychlení procesu výroby. Tkanina se střídavě vkládá do forem s betonem. Postup je téměř identický jako u patentovaného postupu. Podobná metoda vznikla i v Číně, kde se jednotlivá vlákna tkají do jednovrstvé textilie. Poté se celá forma zaleje betonem. Bloky je poté nutné seříznout, aby se odhalila vlákna. [7, 9]

S podobnou variantou přišli i čeští autoři průhledných betonu Jiří Peters a Ladislav Eberl. Jejich průsvitný beton s názvem LiCrete je tvořen proužky s výřezy, tyto proužky jsou vyráběny z UV stabilního plexiskla, které funguje jako světlovod. Tyto proužky se navzájem osadí do sebe a vytvoří tak pevnou prostorovou mřížku, která se vkládá do profilovaných forem. Ty se následně zalijí samozhutnitelnou betonovou směsí. Pak se

nechají 24 hodin zrát. Poté se prvky převezou do zracích komor na dobu 7 dnů. Po vytvrdnutí se zbrousí povrch, jak je tomu u klasické broušené dlažby. Pevnost výrobků po 28 dnech je v průměru 60 MPa. Je tedy možné tvořit nosné i nenosné prvky, tvárnice i panely. Tyto výrobky jsou schopny přenést až 20 % denního světla do vnitřku objektu. Na rozdíl od ostatních technologií tato technologie přenáší světlo i z bočních stran prvku. Cena i výroba je příznivější, než je tomu u Litraconu, ale nelze dosáhnout originálního a chaotického vzhledu. Prostup světla zajišťují křížky, které jsou rovnoměrně rozmístěné po celé ploše prvku. I přes to, že je většina výroby automatizována, je stále přítomná značná část ruční práce. [15]

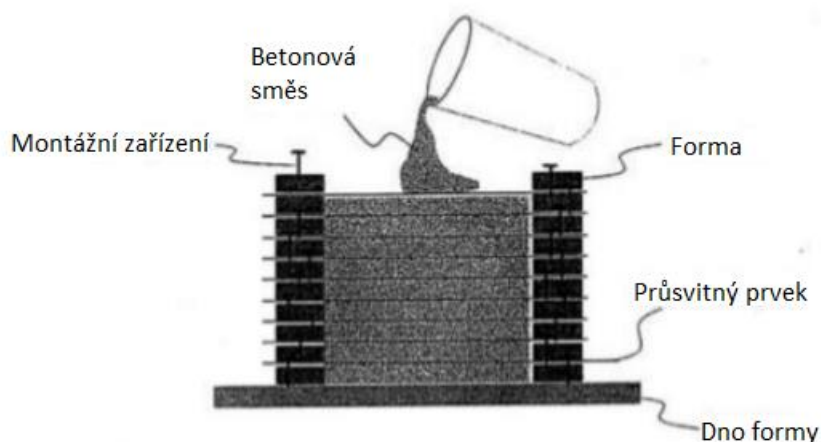


Výrobní postup betonu LiCrete®

Obr. 006: Výrobní postup betonu Licrete [O06]

Pro dodržení vzorů a pro vědecké práce se nejčastěji používá metoda protahování. Jako materiál pro vedení světla se používají optická vlákna a skleněné nebo plastové tyčky. Jako první se musí připravit forma. Forma má vyvrtané otvory na průměry průsvitných prvků ve dvou protilehlých stěnách. Počet otvorů a jejich velikost jsou důležité faktory, které určují konstruktivnost a ekonomickou účinnost projektu, také stupeň propustnosti se určuje podle počtu vláken. Do těchto otvorů se osadí průsvitné prvky, jejichž délka je větší než délka formy a přečnívají ven. Prvky se musí nastříhat na požadované velikosti, v praxi se řeže pro urychlení strojově. Nařezaná vlákna se pak rozdělí podle požadovaných hustot do pytlů. Hustotou se myslí počet vláken na m² plochy. Forma se poté zalije betonovou směsí. Přečnívající vlákna se mohou lepit nebo jinak upevňovat k formě, aby při lití nedošlo k uvolnění nebo k nežádoucímu průhybu. Betonová směs se hutní buď sama, protože se navrhne jako samozhutnitelný beton, nebo se dá hutnit za pomoci vibrátorů. Po zatvrdnutí se přebytečná vlákna ustříhnou. Existuje i předpoklad, že pokud se konce optických vláken nataví, zlepší se jejich schopnost vést světlo. Poté se povrch leští, podle potřeby od pololesklého až po vysoký lesk. Stěny či velkoformátové konstrukce se vyrábějí za pomoci více bloků a spojují se dohromady. Obrisy předmětů jsou na druhé straně konstrukce patrné buď jako rozmazaný stín nebo matná barva. Nemůže dojít k úplné prostupnosti, protože se

nejedná o sklo ale o kombinaci mnoha průsvitných prvků, díky kterým je promítán obraz. [16, 17, 18, 19, 20]



Obr. 007: Forma pro protahování průsvitných prvků [O07]

V mnoha případech bylo zjištěno, že pro prostup světla prvkem je lepší při použití mnoho malých průměrů než méně větších průměrů optických prvků. Husté pole malých světelných zdrojů má větší průhlednost. Ačkoli se průměr zvětšuje a může přenést více světla, jsou jeho hodnoty propustnosti nižší. Postup protahování je velmi časově náročný a všechna práce se dělá ručně. Je zapotřebí speciálních forem, díky tomu lze ale zajistit stejný vzor v obou protilehlých plochách. [17]

Uvažuje se i použití tzv. zabodávání optických vláken. V tomto případě slouží dno formy jako vrstva, do které se upevňují vlákna. Vlákna se musí nastříhat na požadovanou vzdálenost a musí být rovná alespoň v délce prvku. Pokud nejsou ukotvena, vlákna drží vzor jen na jedné straně bloku. Při vlévání betonové směsi se musí dávat pozor, aby se vlákna nehýbala, jejich pohyb vede ke ztrátě vzoru na druhé straně. Existují aplikace, kde stačí, aby vzor byl jen na jedné straně, pro přenos světla to nemá žádný vliv. Při odformování se podložka odstraní a přebytečná vlákna se odstříhnou. Prvek se pak leští pro lepší estetický efekt. [21] Jistou formou zabodávání je postup používající jako matici směs zvanou Rocalite. Rocalite je směs podobná betonu, jen všechny její složky mají mikrometrickou velikost a spotřebují velmi malé množství vody, dá se tedy mluvit o pastě. Když je tato směs mokrá připomíná jílovitou hmotu a při tunutí je velmi pevná. Tyto faktory umožňují proniknutí vláken do mokré směsi a udržet je na místě, dokud směs úplně neztuhne, což trvá cca 4 dny. Povrch se musí vyleštit, aby se odhalila vlákna a bloky mohli splňovat svoji funkčnost. [16]

Jedná se o rychlejší a jednodušší postup než u protahování, kde není zapotřebí měnit formy. Při zabodávání stačí vyměňovat podložku. Nevýhodou je, že vlákna se musí rovnat, protože jsou dodávány v cívkách. Pořád se jedná o ruční práci. [21] Všechny výše popsané postupy jsou výstupem prefabrikací. Zatím neexistuje způsob pro vytvoření průsvitných betonů v monolitických konstrukcích. Dá se říct, že technologie průsvitných betonů se dají obecně rozdělit na přípravu kompozitu, přípravu formy, zaplnění formy, odformování a zrání, odhalování vláken a finální úpravy.

3.3 Příprava kompozitu

Příprava kompozitu se dá v podstatě rozdělit na dvě části. Na přípravu průsvitných prvků a přípravu betonové směsi. [18]

3.3.1 Prvky používané pro vedení světla

Hlavním prvkem jsou optická vlákna, která se použila jako první pro výrobu průsvitných betonů. Kvůli jejich ceně se hledaly i jiné možné alternativy. V dnešní době je průsvitný beton takový, který má v sobě zakomponované prvky, které umožňují průchod světla z jednoho konce na druhý. [2, 14]

3.3.1.1 Sklo a skleněné tyčinky

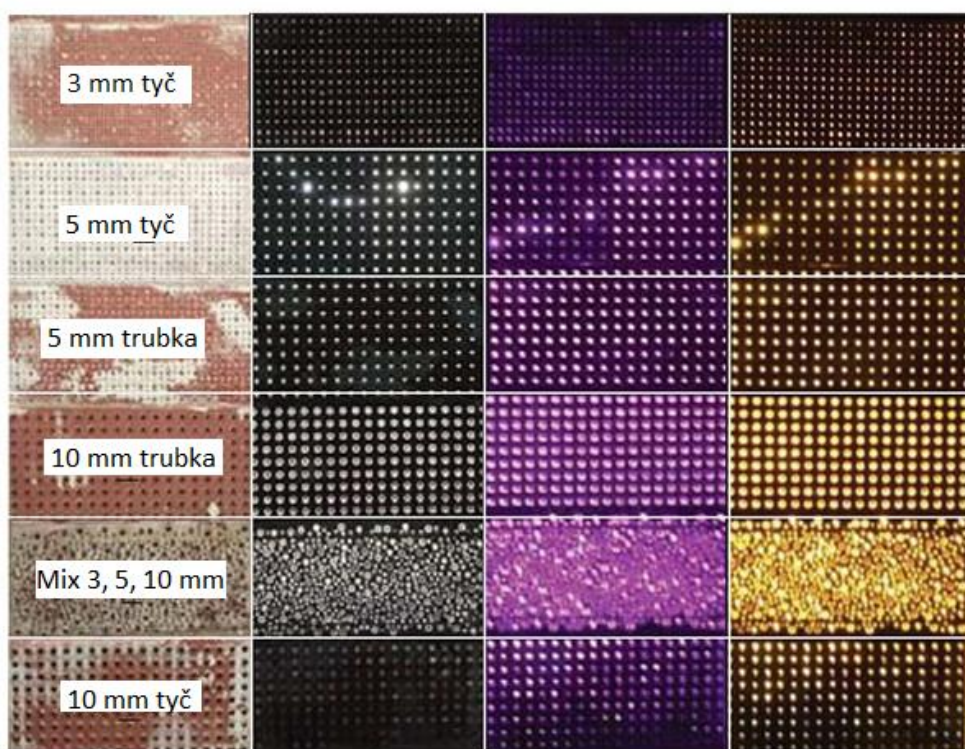
Sklo se do průhledných betonů přidává v podobě skleněných tyček nebo se zabetonovávají rovnou celé skleněné lahve. V afrických zemích, kde je problém s recyklací skla se uvažuje i o mletí skla pro účely plniva. Sklo je na rozdíl od optických vláken pevné a neprohýbá se, proto se nemusí lepit k formě nebo nějak jinak upínat. Pevnosti v tlaku jsou pro použití skleněných tyček podobné jako při použití optických vláken. Hlavní nevýhodou je, že jejich transparentnost není tak velká jako u optických vláken a hodnota prostupnosti světla je 8 krát nižší. Průměry skleněných tyček se pohybují v řádech centimetrů. [16, 22]

3.3.1.2 Plastová tělíska a tyčky

Plastové tyče a tělíska se začaly používat ze dvou důvodů. Prvním důvodem bylo snížit cenu. Cena za klasické průhledné betony se pohybuje kolem 20 000 Kč/m², zatímco průsvitné betony firmy LiCrete se pohybují kolem 10 000 Kč/m². [23] Druhým důvodem bylo umožnit hromadnou výrobu. Ve studii *Flexural performenc of transparent plastic bar reinforced concrete* [2] byly použity plastové tyče o průměru 5 a 10 mm vyrobené z polyvinylalkoholu (PVA) v kombinaci s lehkým samozhutitelným betonem.

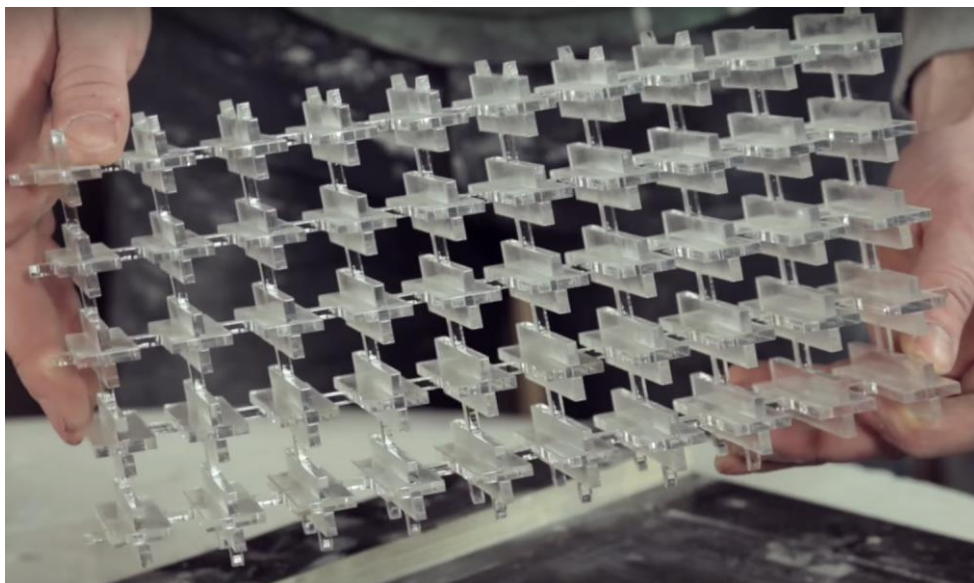
Přidání vláken mělo za následek zlepšení konzistence, protože tyčky bránila lehkému kamenivu plavat.

Vědecký článek *Light transmitting lightweight concrete with transparent plastic bar* [17] také pojednává o aplikaci plastových prvků místo optických vláken pro vedení světla. Kromě akrylových tyček se použily i akrylové trubky. Průměry tyček byly 3, 5, 10 mm a trubek 5 a 10 mm. Vytvořilo se 6 různých vzorků, které jsou zobrazeny na obrázku O08. Tyto vzorky se následně prosvítily světlem o třech různých barvách pro zvýraznění jednotlivých průsvitných prvků.



Obr. O08: Průsvitný beton za použití plastových tyčí a trubek [O08]

Zástupcem plastových tělísek, jak už bylo zmíněno dříve je firma Licrete. Výrobci tělíška nazývají průhledný člen. Jsou vyrobeny z UV stabilního plexiskla a navzájem se spojují do prostorové mřížky, detail mřížky je zobrazen na obrázku O09. Mřížka je sama o sobě dostatečně tuhá a nedeformuje se. Průhledné členy tvoří na povrchu betonu tři pravidelné vzory. Jedná se o sadu křížků, svislé proužky nebo neucelené křížky. Jednotlivé členy jsou natolik velké a průhledné, že na rozdíl od klasických průsvitných betonů jde nimi vidět skrz úplně. Manipulace a práce je snadná a nepotřebuje složitou přípravu a časovou náročnost ve srovnání s manipulací s optickými vlákny. V současnosti firma nabízí i designové prvky jako je například nábytek a osvětlení. [23, 24, 25]



Obr. 009: Prostorová mřížka LiCrete [O09]

3.3.1.3 Optická vlákna

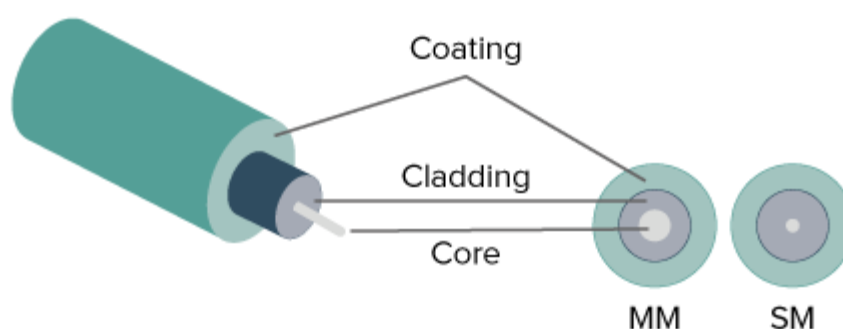
Optická vlákna jsou pružná, tenká a transparentní vlákna válcového tvaru, která umožňují přenos světla z jednoho svého konce na druhý s co nejmenší ztrátou. Svým chováním odpovídají vlnodům nebo světlovodům. Jejich největší využití je v oblasti informačních věd a komunikace, kde elektrický signál je převeden na světlo na jednom konci a následně na druhém konci je světlo převedeno zpátky na elektrický signál. Jedná se o nejrychlejší způsob komunikace. Vlákna jsou schopná vést vlnové délky světla od blízkého infračerveného světla až po viditelné světlo. S oblibou se používají i pro výrobu světelných dekorací. Vnější průměry optických vláken se pohybují od 2 μm až 2 mm. [26]

Vedení světla uvnitř vláken je zajištěno jejich skladbou, která je graficky znázorněna na obrázku O10. Optická vlákna se skládají z: [27, 28]

- Jádru (Core) – Jedná se o středovou část vlákna vytvořenou z nízko ztrátového materiálu jako je například SiO_2 , ve které dochází k samotnému přenosu světla
- Obalu (Cladding) – První obal kolem jádra, je tvořen stejným materiálem jako samotné jádro s tím rozdílem, že obal má nižší index lomu než jádro. Umožňuje na svém rozhraní s jádrem úplný vnitřní odraz a tím znemožňuje únik světla z jádra. Paprsky světla, které dopadají přímo na hranici obalu a jádra jsou vedeny

vlákem bez lomu, zatímco paprsky s velkým sklonem k ose vlákna ztrácí při každém odrazu část své energie, což způsobuje, že nejsou vedeny.

- Povlak (Coating) – První neoptická vrstva kolem obalu, tato vrstva je tvořena jednou nebo více vrstvami polymeru, která chrání vlákno před mechanickým poškozením. Jelikož není tato vrstva nijak důležitá pro samotné vedení světla, není přítomná vždy.
- Buffer (není znázorněn na obrázku) – Chrání vlákno během instalace. Není vždy součástí optických vláken.



Obr. O10: Skladba optického vlákna [O10]

Za vznikem optických vláken stojí anglický fyzik John Tyndall. Při jednom z jeho experimentů nechal proud vody vystřikovat z hadice, světlo se na rozhraní vzduchu a vody úplně odrazilo a zdálo se, že sestupuje kapalinou. Za pomoci zakřiveného proudu vody zjistil, že proud vede světlo a ohýbá ho. [28] Jev se nazývá úplná vnitřní reflexe a je podstatou optických vláken. Dalším podstatným faktem je, že světlo cestuje jako kmitající vlna elektrického nebo magnetického pole. Výsledkem toho jsou dva jevy polarizace a interference. [27]

Ve vlnovodech se světlo šíří za pomoci modů neboli režimů. Režim se chápe seskupení více paprsků světla. Každý režim putuje podél osy vlnovodu s jiným úhlem lomu a jinou rychlostí skupiny. Tento princip vedení se dá aplikovat i na válcové vlnovody jako jsou optická vlákna s tím rozdílem, že u válcových vlnovodů hraje důležitou roli průměr vlnovodu. Pro malé průměry jádra platí, že existuje pouze jeden režim. Taková vlákna se pak nazývají single-mode (SM). Při větších průměrech jádra mluvíme o multi-modu (MM). [27]

Obecně se dají optická vlákna rozdělit podle režimu vedení světla, indexu lomu a materiálu, z kterého jsou vyrobeny. Jak už bylo zmíněno předtím, podle režimů se dělí na single-mode a multi-mode, podle indexu-lomu na step-index a graded-index, z materiálového hlediska jsou na bázi skla nebo plastová.

- Single-mode

Jsou vlákna s malým průměrem jádra, ve kterém probíhá pouze jeden režim. Právě existence jednoho režimu je jednou z jeho největších výhod, protože díky tomu je oproti multi-modu jen jedna rychlost skupiny, ta má za následek vedení impulzu bez zkreslení. Další výhodou je, že svými malými průměry jsou vlákna kompatibilnější s technologií integrované optiky. Na druhou stranu, čím je průměr vláken menší tím těžší je dopadající světlo seskupit do jednoho režimu. [30] Také trpí ztrátou spojení vlivem svých malých průměrů a jejich výroba i manipulace je obtížná. Index lomu těchto vláken je step-index. Používají se především pro komunikační linky delší než 1050 m. [26]

- Multi-mode

Jsou vlákna s většími průměry jádra a více režimy. Používají se pro krátké vzdálenosti a pro přenos vyššího výkonu. [26] Kvůli různým rychlostem režimů se impulzy světla při vedení vláknem rozšiřují. Tento efekt se nazývá modální disperze a limituje rychlost pro vysílání impulzů tak, aby se nepřekrývaly. Jev se dá upravovat indexem lomu. [27] Pokud střed jádra bude mít vyšší index lomu a směrem k obalu se bude index lomu snižovat, hovoříme o graded-indexu. Pokud jádro má konstantní index lomu hovoříme o step-indexu.

- Step-index

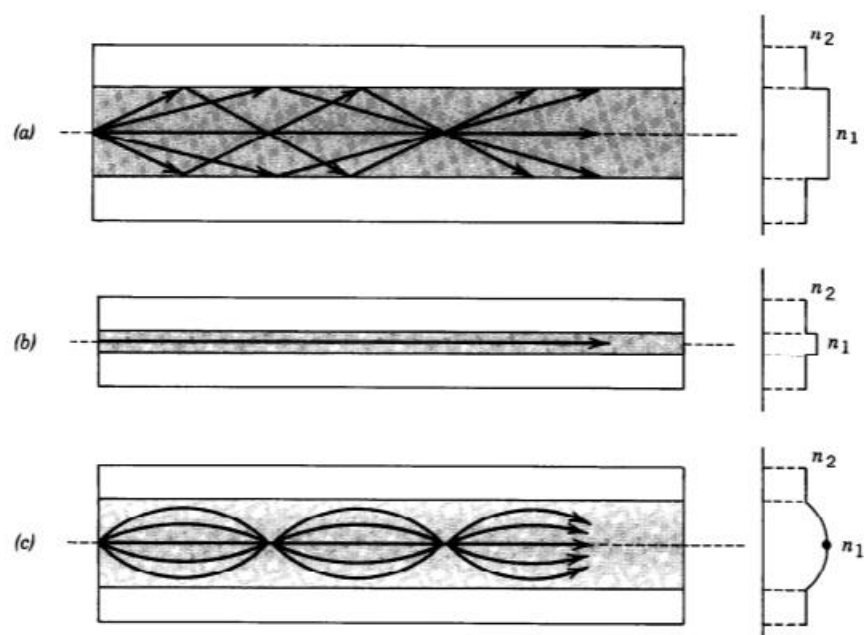
Je specifický index lomu jádra n_1 a obalu n_2 . Index lomu jádra a obalu se liší jen nepatrně. Díky tomu je změna frakčního indexu lomu jen velmi malá. Změna se dá vypočítat podle vzorce uvedeného níže.

$$\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$$

Malý rozdíl v indexech lomu je vytvořen za pomoci doplňkových materiálů, jako je titan, germanium nebo bór. Hodnota indexu lomu se pohybuje od 1,44 do 1,46 v závislosti na vlnové délce a Δ mezi 0,001 až 0,002. [26]

- Graded-index

Umožňuje změnu indexu lomu v jádře. Uprostřed jádra má index lomu největší hodnotu a s posouváním k hranice pláště a jádra se jeho hodnota snižuje. Díky tomu je fázová rychlost světla uprostřed jádra minimální a blíže k hranici jádra s obalem se zvyšuje i přesto, že paprsky s větším sklonem k ose vlákna musí dál, protože cestují rychleji, tak se rychlost paprsků vyrovná. [26] Na obrázku O11 jsou znázorněny indexy lomu pro jednotlivá vlákna.



(a) – multi-mode se step-indexem; (b) – single-mode se step-indexem; (c) – multi-mode s graded-indexem

Obr. O11: Indexy lomu optických vláken [O11]

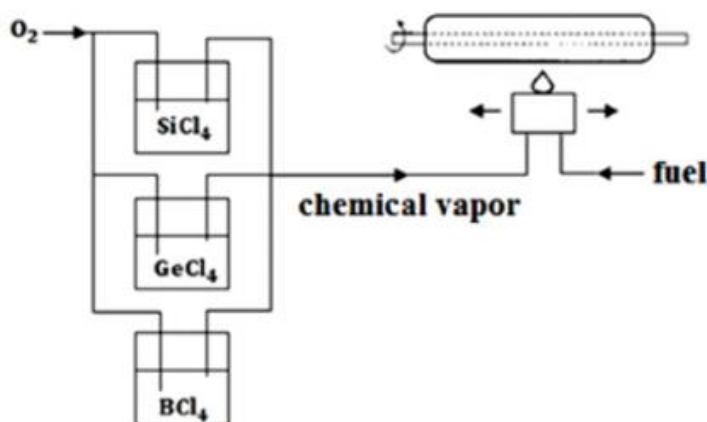
- Skleněná optická vlákna (GOF)

Vlákna se vyrábí z oxidů skla. Nejběžnějším oxidem je SiO_2 . Sklo pro vlákna je vyráběno tavením směsí oxidů kovů, sulfidů nebo solenoidů. Jejich kladné vlastnosti jsou odolnost proti deformaci při vysokých teplotách, odolnost proti zlomení z teplotního šoku, chemická trvanlivost a vysoká průhlednost v IR a viditelném pásmu. [26]

Za účelem výroby jádra a obalu z podobného materiálu s mírně odlišným indexem lomu se do SiO_2 přidávají dopanty jako fluor. Dopant je látka k výrobě požadované elektrické charakteristiky v polovodiči. Dopanty se dají rozdělit do

dvou skupin. První snižuje index lomu a druhá jej zvyšuje. Pro výrobu vláken se používají dva principy oxidace v plynné fázi a proces přímého tavení. [26] Existují čtyři výrobní procesy fungující na principu oxidace v plynné fázi. Jsou to vnější depozice par (OVD), parní axiální depozice (VAD), modifikovaná chemická depozice par (MCVD) a plazmou aktivovaná chemická depozice par (PCVD). Druhého principu využívá metoda dvojitého kelímku.

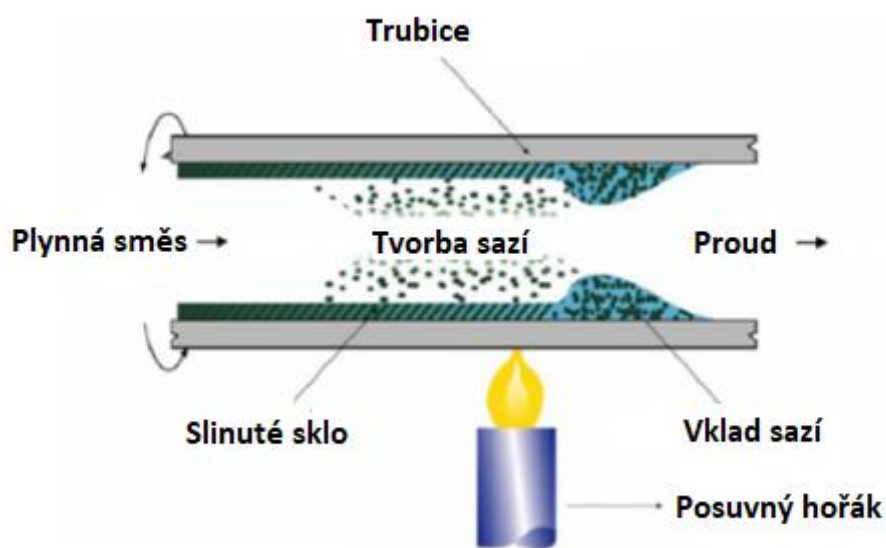
V metodě OVD jsou částice SiO_2 , zvaná saze, nanášeny z hořáku na rotující grafit nebo keramický trn. Sklo saze přilne k návnadové tyči a vrstva po vrstvě tvoří skleněný porézní cylindrický předlisek. Za pomoci proudu par halogenidů kovů během procesu depozice mohou být skleněné kompozity a rozměry vrstev zatříženy do předlisku. Po procesu depozice je trn odstraněn a průhledná trubice zeskelnatí v prostředí s teplotou vyšší než $1400\text{ }^\circ\text{C}$. Předlisek je následně tažen. Při tomto procesu se díra uprostřed zhroutí. Touto metodou se dá vyrábět jak step-index, tak graded-index. Schéma výroby je graficky znázorněno na obrázku O12. [26]



Obr. O12: Metoda OVD [O12]

Metoda VAD vytváří saze stejně jako OVD metoda. Částice jsou uloženy na skleněné tyči připevněné ve svislé poloze k motoru. Porézní provedené se vytváří axiálně, když tažný stroj otáčí tyč nahoru. Předlisek se zformuje na tyč roztavením, poté je připraven na tažení vláken. [26] Celý proces se oproti OVD odehrává v depoziční komoře a není vytvořen otvor, jak tomu bylo u metodu OVD. VAD je kontinuální výroba.

MCVD se používá pro výrobu vláken s nízko ztrátovým graded-indexem. Skelné saze vznikají reakcí plynných halogenidů a kyslíku, které protékají vnitřkem rotační křemičité trubice. Částice jsou během ukládání spékány na čiré sklo pomocí oxyhydrogeového hořáku. Při požadované tloušťce skla se tok páry zastaví, trubice se nahřeje a dojde k zhroucení do předlisku, následně je vlákno taženo. Tyto vlákna mají jádro z materiálu, které byly obsaženy v páře, a obal z původní křemičité trubice. Schéma výroby znázorněno na obrázku O13.



Obr. O13: Metoda MCVD [O13]

PCVD příprava je stejná jak u metodu MCVD, jen místo hořáku se používá neizotermální plazma v mikrovlnném frekvenčním rozsahu. Plazma umožňuje reakci při 1000 °C až 1200 °C. To vede k ukládání velmi tenkých vrstev v trubici. Tato metoda sice umožňuje vznik vrstev při nižších teplotách, ale tvorba vlákna je velmi pomalá. [26]

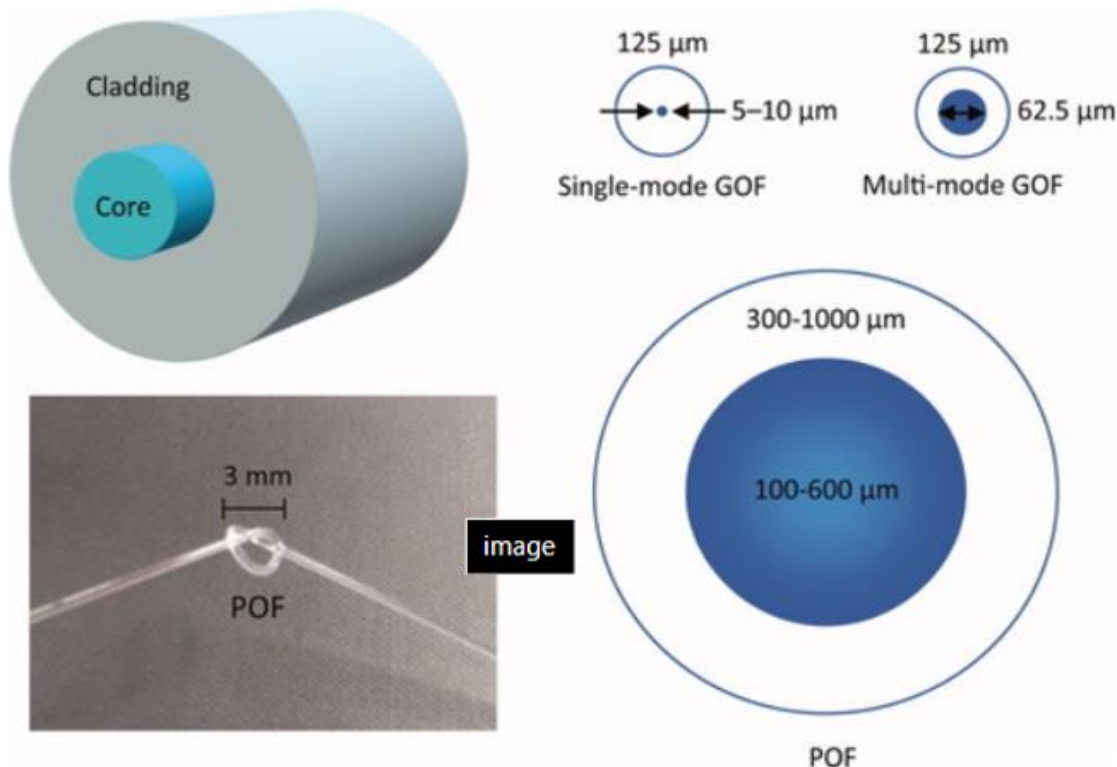
Metoda dvojitého kelímku se používá jak k výrobě SiO₂ vláken, tak halogenidových skleněných vláken. Používají se dvě tyče jedna pro jádro a druhá pro obal. Tyto tyče jsou použity jako výchozí materiál pro dva soustředné kelímky. Vnitřní kelímek obsahuje roztavené jádro a vnější obal. Vlákno je pak kontinuálně taženo z roztaveného stavu. Nevýhodou je možná kontaminace materiálu během tavení. [26]

Výhoda skleněných vláken je, že umožňují vniknutí více světla do systému, odolávají extrémním teplotám, fungují na delším vlnovém pásmu a mají menší ztráty. Nevýhodou jsou malé varianty průměrů 0,05 mm až 0,15 mm, dále jsou

křehčí a náchylnější na zlomení. Hlavní aplikací jsou dálkové komunikační aplikace. [30]

- Plastová optická vlákna (POF)

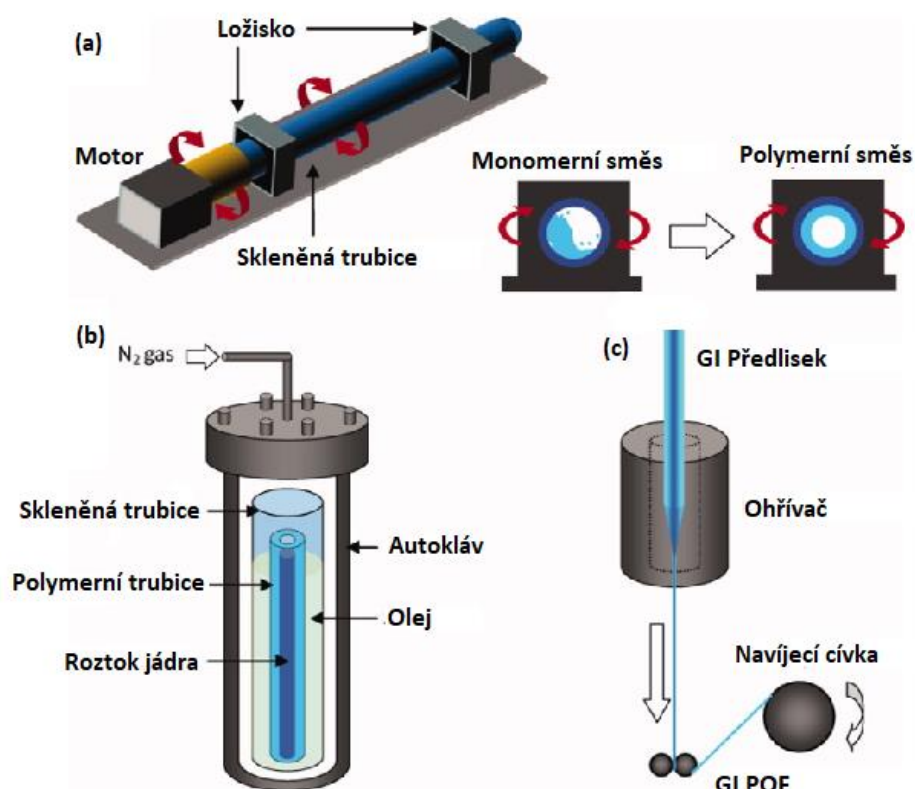
POF mají obvykle jen dvě vrstvy jádro a obal. Materiály pro výrobu jsou obvykle polymethylmethakrylát PMMA, polykarbonát PC, polystyren PS, cyklický olefinový kopolymer COC a amorfni fluoropolymer CYTOP. Na obrázku O14 lze vidět porovnání POF vůči GOF. [30, 31]



Obr. O14: POF vs GOF [O14]

Vyrábí se mnoha způsoby jako je např. metoda techniky mezifázové gelové polymerace nebo proces společného vytlačování.

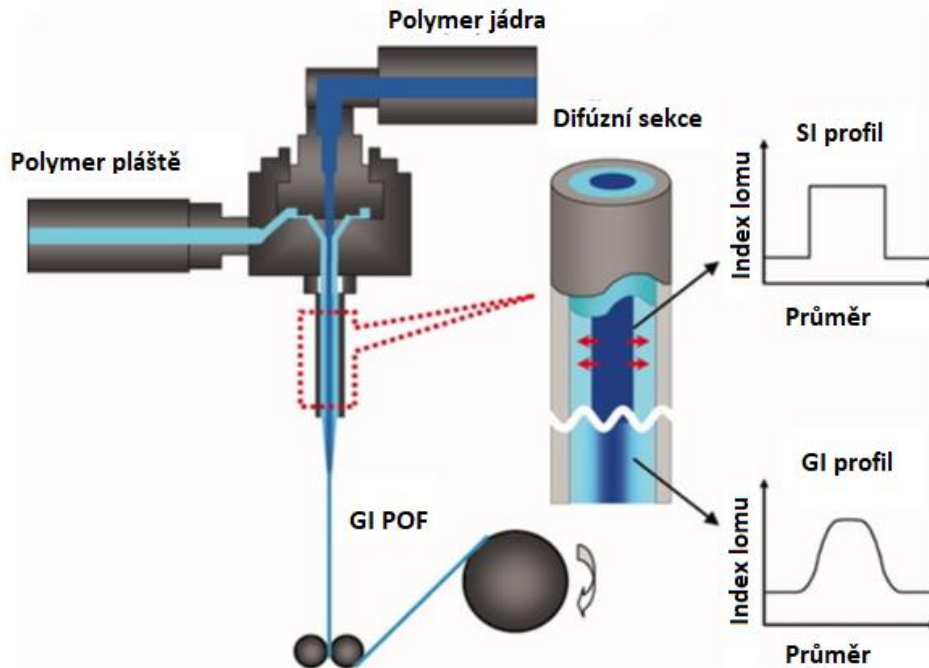
Metoda mezifázové gelové polymerace má základní vrstvu jádra a pláště tvořenou PMMA a nízkomolekulárním dopantem jako je difenylsulfid (DPS). Skleněná trubice se nejprve naplní směsí monomerů MMA, včetně benzoylperoxidu (BPO) a n-butylmerkaptanu (n-BM) ty slouží jako iniciátor a činidlo pro přenos řetězce. Tyč se otáčí kolem své osy 3000 ot/min v peci při teplotě 70 °C po dobu až 6 hodin. Monomer MMA je díky odstředivé síle postupně polymerizován. Po dalším tepelném zpracování při 90 °C a po dobu 24 h se získá polymerní trubice na bázi PMMA, která slouží jako potahová vrstva předlisku. Trubice se poté naplní roztokem jádra a zahřívá se v olejové lázni při 120 °C, tlaku 0,6 MPa po dobu 48 h. Roztok jádra musí být polymerizován při teplotách kolem 110 °C. Takto vysoká teplota bohužel vede k tvorbě bublin během polymerizační reakce, protože MMA má bod varu kolem 100 °C. Proto se musí polymerizace provádět při vhodně zvoleném tlaku. Vlákna se tahají za tepla z předlisku. Schéma výroby je znázorněno na obrázku O15. [31]



Obr. O15: Mezifázová gelová polymerace [O15]

Proces společného vytlačování je pro výrobu GI POF. Pro tuto metodu jsou polymery dopované nízkomolekulárními látkami. V systému PMMA-DPS se polymerizace provádí při 90 °C po 24 h. Hromadné polymery se pak dále

zahřívají na 110 °C. Oba materiály, pro jádro a obal, ve svých příslušných vytlačovacích sekcích při 210 °C až 250 °C. Nakonec jsou smíseni v matrici. Vlákna mají nejdříve charakter SI. Díky difúzní sekci se vlivem molekulární difuze vytvoří GI. Schéma výroby je znázorněno na obrázku O16. [31]



Obr. O16: Společné vytlačování [O16]

Výhodou POF je rozmanitost průměrů od 0,2 mm až po 20 mm, jsou víc pružné a levnější. Nevýhodou je, že fungují jen při vlnové délce od 400 nm do 700 nm a mají nižší trvanlivost. Nejčastěji se používají pro dekorativní aplikace nebo v automobilovém průmyslu. [30]

Pro aplikaci do průsvitných betonů by vlákna neměli mít buffer kvůli soudržnosti s cementovou matricí. Samotné vlákno a buffer k sobě nejsou připevněny velkou silou, protože vlákno by mohlo vypadnout. Index lomu pro tuhle aplikaci nehraje důležitou roli, záleží jen na režimu úplného odrazu. Single-mode vlákna jsou použitelná, ale kvůli tomu že mají jen jeden režim a nižší výkony, je použití multi-modu vhodnější. Nejde s jistotou říct, který materiál je pro tuto aplikaci vhodnější. [14] Skleněná vlákna vykazují nižší ztráty světla, což je důležitý parametr pro průsvitné betony, odolávají chemickému prostředí a vysokým teplotám, jsou ale zároveň křehké a velmi drahé. Plastová vlákna se pro účely osvětlení používají běžně, jsou pružné a odolávají mechanickému poškození, jsou schopná ale převést pouze omezené pásmo světla. Protože jsou optická

vlákna používána především v IT a komunikačních systémech ztráta jejich signálu se počítá na km. Ve stavebnictví se tloušťky konstrukcí pohybují v řádech cm a m. V literaturách se uvádí, že vlákna zvládnou bez sebemenší ztráty převést světlo v délce 20 m. Většina firem ve světě, která vyrábí průsvitné betony, používá POF. Jelikož jsou mnohem levnější, pružnější, dostupnější a teoreticky pro tuto aplikaci je jejich ztráta signálu zanedbatelná. Srovnání materiálu optických vláken pro aplikaci do průsvitných betonů jsou zapsány v tab. 1. [8]

Tabulka 1: Klasifikace průsvitných betonů

Typ	Materiál	Výhody	Nevýhody
Průsvitný beton se skleněnými optickými vlákny	Silika s malým množstvím dopantů	Vede světlo efektivně na dlouhé vzdálenosti	Vysoká hmotnost
Průsvitný beton s plastovými optickými vlákny	Obal: Silicon nebo teflon	Pružná	Pro krátké vzdálenosti
		Levná	
		Jednoduchá na instalaci	
	Jádro: Polymethylmethacrylát nebo polystyren	Odolává větším zatížením	
		Nízká hmotnost	

3.4 Matrice

Matrice průsvitných betonů se nijak zvlášť neliší od obyčejných betonů. Jedním z hlavních rozdílů je, že do průsvitných betonů se používá jenom drobné kamenivo, a to obvykle s velikostí zrna do 2 mm. Takhle drobné kamenivo se používá kvůli hustému zastoupení optických vláken, kde mezery mezi jednotlivými vlákny jsou stěží viditelné. Druhým rozdílem od obyčejných betonů je, že se přednostně používají samozhutnitelné betonová směsi SCC nebo samozhutnitelná malta SCM. Je možné aplikovat i mechanické vibrace na průsvitný beton, to může mít ale za následek poškození vláken a jejich uspořádání. Požadavky na betonové směsi pro průsvitný beton jsou tedy stejné jako požadavky na samozhutnitelné betony. [7, 11, 13, 14, 18, 33]

SCM je nedílnou součástí SCC, využívá se hlavně při opravách, injektáži nebo jako matrice průsvitných betonů. Samozhutnitelný beton je materiál, který je schopen téct pod vlastní tíhou a zcela vyplnit bednění, a to i v přítomnosti hustého vyztužení bez potřeby jakékoliv vibrace při zachování homogenity. SCC byl poprvé vyvinut na Univerzitě v Tokiu v roce 1988, aby se zvýšila životnost a zamezilo se nedokonalému zhutnění. První metodou návrhu mixu SCC je metoda Japonského mixu. Návrh směsi SCC je závislý na použitých materiálech. Zpracovatelnost SCC je závislá na základních vlastnostech SCM. Obecně SCC/SCM vyžadují vyšší obsah cementu než běžné betony pro dosažení samo zhutnění. Příměsi jako je např. jemně mletý vápenec se s oblibou používají pro snížení množství cementu, snížení výsledného hydratačního tepla, zvýšení tekutosti a trvanlivosti. [14, 33, 34, 35]

Pro návrh SCC neexistují specifické postupy, nicméně existuje několik metod založených na empirických a vědeckých důkazech. Jednou z těchto metod je obecný návrh mixu (Japonsko), CBI (Švédsko), LCPC (Francie) atd. Obecný návrh mixu byl vyvinut Okamurou a Ozawou, kteří jsou považováni za průkopníky v oblasti SCC. Tento návrh spočívá ve třech fázích, návrh vstupních materiálů, optimalizace fáze malty a betonová fáze. Počáteční vodní součinitel SCM je založen na návrhu cementové pasty zjištěné z průtokové zkoušky. Zkouší se minimální množství vody pro zahájení tečení směsi. Pro každou zaznamenanou směs s různým vodním součinitelem se vypočítá průměr průtoku a vypočítá se relativní pokles. Existuje lineární vztah mezi relativními poklesy, tam kde přímka protne osu y je bod β_p . β_p označuje množství vody, kde nedochází k segregaci materiálu z toho plyne, že práškový materiál zadržuje vodu úplně, což se bere jako počáteční množství vody. Když je stanoveno β_p musí být obsah jemného kameniva 40 %- 50 % objemu malty, cementu a vody. Provedou se testy s V- trychtýřem pro dosažení cílové zpracovatelnosti. Pro řízení tekutosti směsi se používají superplastifikační přísady. [14, 3a]

Švédský institut pro výzkum cementu a betonu navrhl metodu CBI. Princip metody spočívá v minimálním obsahu cementového tmele pro vytvoření optimální kostry agregátu, která zajišťuje průchodnost SCC překážkami. Metodou CBI se docílí vyšších pevností a zlepšení trvanlivosti, protože vodní součinitel je odvozen od požadovaných pevností, ale stanovení blokace agregátů je zdlouhavé. [14]

LCPC vyvinulo model pevné suspenze SSM pro popis reologických vlastností a zpracovatelnosti. Jedná se o softwarový model. Pro model je potřeba znát gradaci částic, tloušťku kontaktní zóny, jednotkovou hmotnost a bod nasycení směsi plastifikační

přísadou pro předpověď množství cementového tmele mezi zrny kameniva a současně pro co největší snížení vody. K použití této metody je třeba spousta předběžných testů, ale pokusy pro vyrobení požadovaného SCC jsou sníženy. Tato metoda se dá použít jen na směsi bez přísad modifikujících viskozitu směsi. [14]

Čerstvé SCC musí mít vysokou stabilitu, tekutost a schopnost plnění formy bez segregace či krvácení vody, aby směs mohla proudit gravitační silou a procházet kolem překážek a za ní se zase samovolně spojovat. Každé SCC musí splňovat tři požadavky a to tekutost, schopnost plnění a schopnost průchodu. Podle Okamury a Ouchiho existují tři základní principy, jak dosáhnout samozhutnitelných směsí. Použitá superplastifikačních přísad, snížení množství vody vůči jemnozrnným materiálům ve směsi a omezení objemu hrubého kameniva. Vysoký obsah pasty zaručuje separaci kameniva pro zajištění požadované tekutosti a schopnost průchodu. Okamurův a Ouchiho výzkum dokazuje, že když se beton deformuje, vnitřní napětí se zvyšuje hlavně blízko překážek. Tento jev vede k blokaci kvůli tomu, že energii potřebné k proudění je rozptýlená vnitřním napětím. Vyšší obsah cementu a příměsí v SCC zvyšuje jeho soudržnost a zpracovatelnost současně snižuje možnost, že dojde k blokaci snížením intermolekulární interakce mezi agregovanými částicemi. Je nezbytné část cementu nahradit příměsí pro minimalizaci nadměrného generovaného tepla a pro snížení nákladů. Zpracovatelnost je vysoce ovlivněna strukturou, velikostí a typem kameniva použitého do SCC. Tření mezi zrny kameniva omezuje pohyblivost směsi, schopnost plnění a průchodnost. Proto se omezuje maximální zrno kameniva a snižuje se objemový podíl kameniva ve směsi pro zlepšení plnění a tekutosti. Pro výrobu SCC se mohou používat i látky modifikující viskozitu VMA. Tyto látky jsou ve vodě rozpustné polymery nebo koloidní suspenze, které zvyšují viskozitu záměsové vody a zlepšují adhezivní vlastnosti cementového kaše. VMA stabilizuje reologii, minimalizuje možné krvácení a segregaci směsi. Navíc se směs stává méně citlivá k množství obsažené vody. [11, 14, 34]

Vlastnosti čerstvých samozhutnitelných betonů/malt:

- Schopnost plnění: Také známá jako deformovatelnost. SCC se deformuje pod svou vlastní tíhou a vyplňuje tak formu. Dá se vyjádřit dvěma mechanizmy, které probíhají současně, a to deformační kapacitou a maximální vzdáleností, při které ještě dochází k tečení a tím pádem k deformaci. Zjišťuje se za pomoci zkoušky V-trychtýřem. [14, 35]

- **Odolnost proti blokaci:** Schopnost směsi projít skrz překážky jako je výztuž nebo optická vlákna a zároveň zůstat homogenní během toku. Vyhodnocuje se zkouškou s L-boxem nebo J- ringem. [14, 35, 37]
- **Stabilita:** Schopnost odolat segregaci během lití a během přepravy. Je důležité znát hmotnost přítomných plniv a velikost. Způsob vyhodnocení je vizuální. [14, 35, 38]
- **Robustnost:** Odolnost SCC vůči změnám v jeho vlastnostech v čerstvém stavu vlivem okolních faktorů. Jako je např. dávka superplastifikačních přísad, jemnost agregátů, obsah vlhkosti agregátů atd. VMA přísady obecně zlepšují robustnost SCC směsí. [14, 35]

Vliv příměsí na SCC jako je jemně mletý vápenec je snížení množství cementu a zvýšení tloušťky kontaktní zóny mezi zrny kameniva, dále zvyšují hutnost. Vápenec navíc snižuje rychlost hydratace cementu a tím pádem zvyšuje pohyblivost SCM. Experimentální výsledky ukazují, že použití popílku a jemně mletého vápence zlepšují zpracovatelnost SCM. [11, 14]

Použité chemické přísady jako jsou superplastifikátory zajišťují deflokaci a snižují množství záměsové vody. Tekutost SCM závisí na dávce plastifikačních přísad, zatímco schopnost průchodu závisí na poměru jemných podílů v matici a plniva. Poměr vody ku cementu a množství plastifikačních přísad jsou významné pro výslednou reologii. Se zvyšující se tekutostí klesá stabilita směsi, proto se nezvyšuje obsah vody, ale používají se superplastifikační přísady. [11, 14, 38]

3.4 Příprava formy a přichycení vláken

Jednou z nejdůležitějších věcí při výrobě průsvitných betonů je zvolení formy. Je důležitá jak její podoba, tak materiál, z které je vyrobena. Obecně mají kovové formy lepší obrátkovost a životnost, jsou ale dražší než dřevěné formy. Dřevěné formy mají výhodu, že jejich pořízení není tak finančně nákladné. Pro technologii vkládání optických vláken není zapotřebí žádná speciální forma a formy bývají většinou ocelové. Pokud jsou ovšem vlákna navzájem spojena tkaninou používá se forma s prvky určenými k přichycení tkaniny. [17, 19, 20]

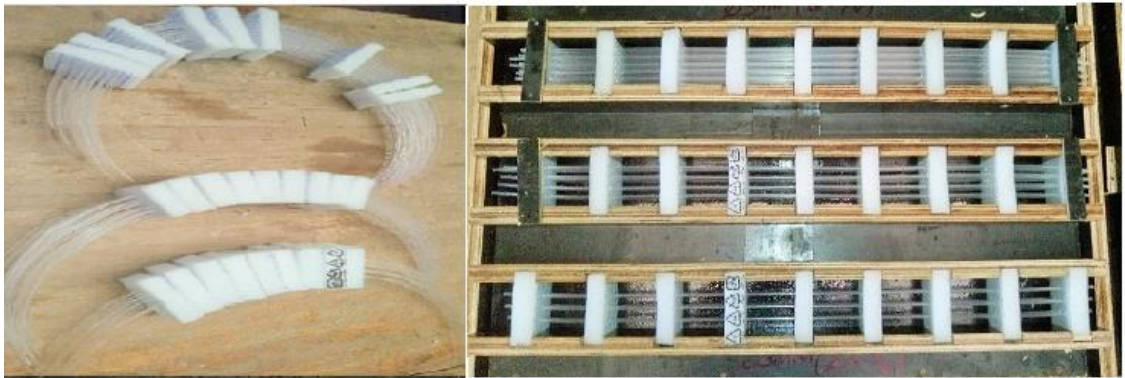
Pro protahování optických vláken se používá hned několik forem. Kovové formy se používají při vysoké poptávce, formy mají ve dvou protilehlých stěnách vyvrtané

otvory o požadovaném průměru vláken, jde vidět na obrázku O17. Rozmístění a počet otvorů záleží na požadovaném finálním vzhledu a na očekávané prostupnosti světla. Je zajištěn stejný vzor při každé výrobě a není problém s ukotvením vláken, jen je to časově náročný proces, protože se každé vlákno musí protáhnout ručně skrz otvory. [17, 19, 21]



Obr. O17: Nerezová forma pro protahování [O17]

Dřevěné formy se používají při výrobě více výrobků naráz. Jedná se většinou o jednu dlouhou formu s vnitřními přepážkami. Všechny přepážky jsou děrované na požadované rozměry, rozestupy a vzory. Přepážky mohou být vyrobeny ze dřeva, materiálu na bázi dřeva jako je překližka nebo mohou být z polymerních materiálu např. pěnový polystyrén. Polystyrén se často používá při výrobě zkušebních vzorků, protože není třeba předvrtat otvory pro vlákna. Přepážky z polystyrenu se totiž naráz probodnou optickými vlákny. Požadované rozestupy přepážek se vytvoří vložením do dlouhé dřevěné formy, ta může mít dvě protilehlé strany s otvory, kde se protáhnou vlákna a přichytí tak aby byly mírně napjaté. Nebo dřevěná forma slouží jenom jako opora pro přepážky z polystyrenu. Příklad dřevěné formy s polymerními přepážkami je znázorněna na obrázku O18. [20, 21]



Obr. O18: Nerezová forma pro protahování [O18]

Často se používá ocelová forma, ve které se vymění dvě protilehlé strany za překližované desky, aby se nemusela pořizovat speciální forma pro průsvitné betony. Forma je zobrazena na obrázku O19. Vlákná se poté ručně protahují. Většinou se vlákna kotví lepením, aby se při plnění betonovou směsí nevypadla z připravených otvorů a nezničila tím požadovaný vzor, nebo se použije delší vlákno. [16]



Obr. O19: Nerezová forma pro protahování [O19]

Optická vlákna se dají kotvit pomocí tzv. zabodávání. Jako kotvicí prvek slouží dno formy nebo podložka vložená na dno formy. Tato metoda patří mezi spíše teoretické metody, dá se ale za pomoci ní vytvořit průsvitný beton. Ve studii od *Han B., Zhang L. a Ou J. (2017) Light-transmitting concrete* [8] bylo použita polymerní jílová hmota jako dno formy pro zabodání vláken. Jako stěny v této studii posloužil plastový prstenec, který se vtlačil do jílu, podoba formy je vidět na obrázku O20. Problém je hlavně v nerovnosti vláken. Jelikož optická vlákna se skladují ve svitcích, nejsou rovná ale mírně prohnutá, čím tenčí je vlákno tím více je zdeformované. Což vede k tomu, že výrobek z jedné strany drží vzor, zatímco z druhé strany se vzor vytrácí čím dál tím víc podle tloušťky

prvku. Teoreticky by se takovému chování dalo zabránit narovnáním optických vláken. [21, 8]



Obr. O20: Princip formy pro zabodávání. [O20]

3.4.1 Faktory ovlivňující podobu formy průsvitných betonů

Zásadním faktorem ovlivňující podobu formy je požadovaný finální vzhled. Ten sestává z pozice vláken a tím pádem ze způsobu jejich umístění do formy, na jejich počtu a velikosti. [17, 19, 21]

3.4.2 Uchycení vláken

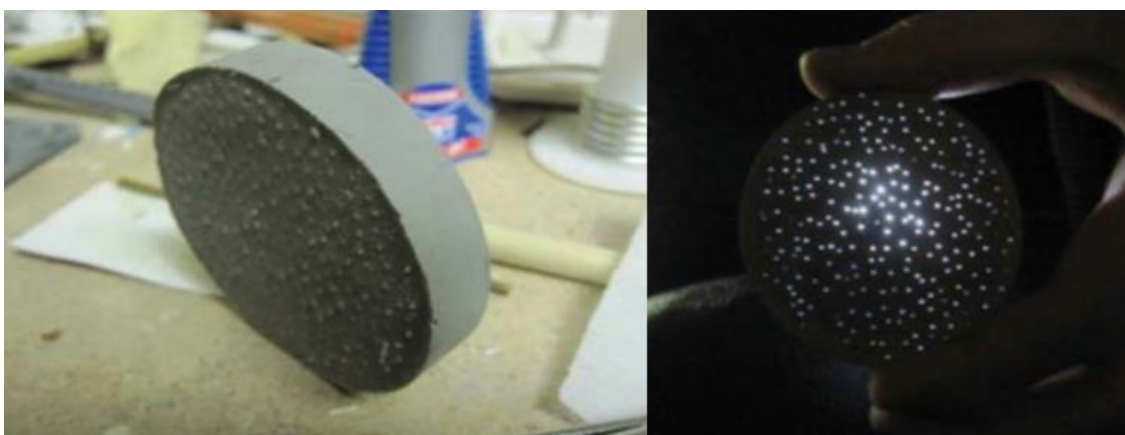
Vlákna se dají zakomponovat do formy hned několika způsoby. Prvním způsobem je volné vkládání, za kterým stojí firma Litracon. Vzhled jejich výrobků je strukturován do zvlněných pruhů nebo do neuspořádaných teček. Finální vzhled je jiný s každým výrobkem, protože vlákna nejsou kotveny, jedná se o volné vkládání, a tudíž jejich poloha nejde jednoznačně určit. Výhodou je jejich originální vzhled a fakt, že není zapotřebí speciálních forem. Dalšími způsoby kotvení, kde už je zapotřebí upravené formy, je protahování, zabodávání a použití tkaniny. [10, 12, 17, 21]

3.4.2.1 Protahování

Protahování je jeden způsob, jak docílit stejného vzoru na obou protilehlých stranách prvku. Vlákna se musí protáhnout otvory v boku formy. Délka vláken závisí na způsobu přichycení. Nejčastěji se vlákna mírně napnou, aby po dobu plnění zůstala rovná. Dají se i lepit k bokům formy nebo se vlákna udělají dostatečně dlouhá a na konci se svážou. Jedná se z velké části o ruční práci. Podle vzoru a tloušťky vláken se jejich počet pohybuje v řád stovek. [14, 17, 19, 21]

3.4.2.2 Zabodávání

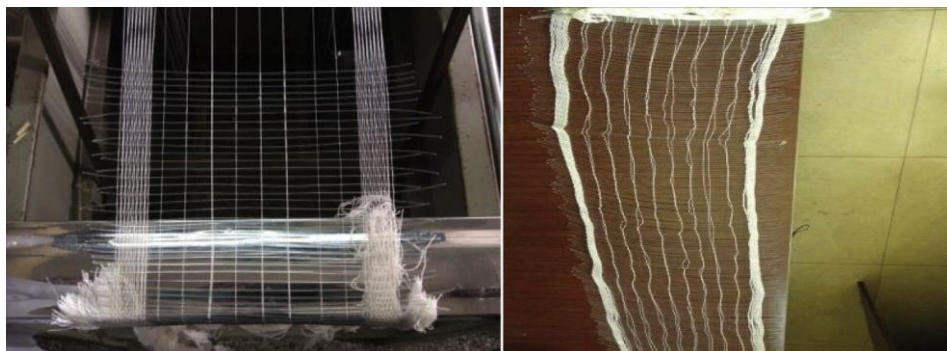
Princip je postaven na rovných optických vláknech s dostatečnou tuhostí, aby po zabodnutí unesl sám sebe a nezačal se prohýbat. Pro tuhle aplikaci je ideální používat tužší vlákna s většími průměry. Dno formy musí fungovat jako podložka pro zabodnutí vláken nebo se do formy taková podložka vloží. Při tenkých tloušťkách prvku je vzor stejný na obou stranách. Pro větší tloušťky se vlákna na straně, kde nejsou kotvena, začnou mírně ohýbat vlivem lití směsi. Výrobky pak mají z jedné strany vytvořený vzor a z druhé strany „chaos“. Vlákna musí být delší, než je požadovaná tloušťka výrobku. Vzorek vyrobený podle těchto principů je znázorněn na obrázku O21. [8, 21]



Obr. O21: Průsvitný beton – zabodávání. [O21]

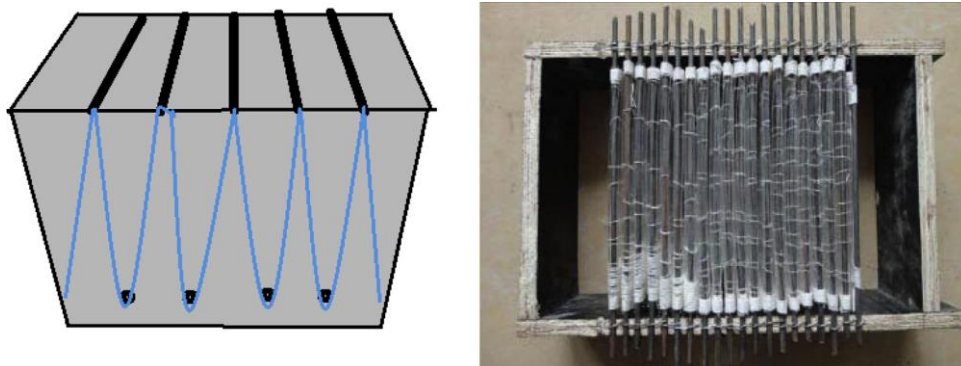
3.4.2.3 Tkanina

V této metodě se vlákna tkají do jednovrstvé textilie. Optická vlákna jsou distribuována v jednom směru a bavlněná nit se používá pro spojení vláken mezi sebou. Vlákna jsou od sebe vzdálena 3 až 6 mm. Připravená vlákna jsou zobrazena na obrázku O22. Tkanina se dá umístit do formy dvěma způsoby. [9]



Obr. O22: Optická tkanina. [O22]

Metoda A obsahuje paralelní ocelové tyče, které jsou umístěny ve směry podélné osy ve specifických vzdálenostech. Tkanina s vlákny je poté zkroutena v tyčích jak na spodní straně formy, tak na horní. Metoda je znázorněna na obrázku O23. [9]



Obr. O23: Metoda A. [O23]

Metoda B má ocelové tyče připevnění do základny ocelové formy. Tkanina se pak proplétá mezi ocelovými tyčemi. V této metodě se tkanina dá připravit pro různé tvary. Způsob kotvení je zobrazen na obrázku O24. [9]



Obr. O24: Metoda B. [O24]

3.5 Odformování

Při odformování se u metody protahování, kdy se vlákna přilepila na formu, musí nejprve odstranit lepidlo a seříznout přebytečnou délku vláken. Jinak se nijak neliší od běžných metod. [17, 21]

3.6 Odhalování vláken, finální úpravy

Podle způsobu kotvení jsou vlákna buď skrytá v matrici, nebo přechnívají. V případě, kdy jsou vlákna volně ložena a jsou skryta, se výrobek seřízne z dvou stran, aby se vlákna dostala na povrch. V praxi se vyrábí velké dílce, kde se vlákna odhalují při řezání dílců na tvárnice. V případě přechnívání se prvky nejprve zbrousí, aby byl povrch hladký a přechnívající optická vlákna byly v jedné rovině s povrchem matrice. Většina výrobků z průsvitných betonů se leští pro ještě příznivější estetický dojem. [13, 14, 17, 19, 21]

3.6.1 Broušení a leštění

Broušení a leštění spadá pod kamenické úpravy betonů. Beton lze opracovávat ručně nebo za použití mechanizace. Broušené betonové povrchy se dají dále leštit. Leští se za pomoci velmi jemného písku s tvrdými zrny. Beton by měl být dobře zpracován, zhutněn i ošetřován, aby zůstal kompaktní, pro docílení perfektního vyleštění. Pro větší estetičnost se používá hrubší frakce kameniva. Někteří architekti si pro své realizace rádi vybírají kameniva podle barev, pro ještě zajímavější výsledky. [1, 39]

Povrchy, které jsou řezány diamantem, se podobají broušeným povrchům. Povrch je však hrubší a má na sobě stopy po řezání. [1, 39]

3.7 Vlastnosti průsvitných betonů

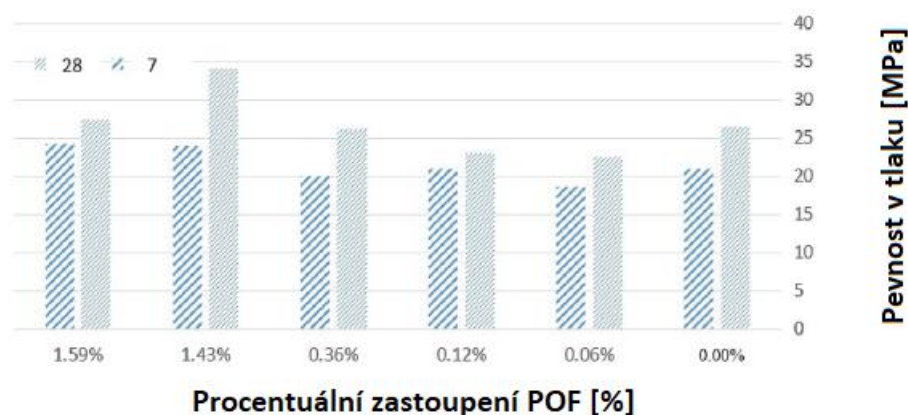
Přidání optických vláken ovlivňuje základní vlastnosti betonu jako je pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, objemová hmotnost a přidává novou vlastnost a tou je průsvitnost. Optická vlákna ovlivňují vlastnosti kladně i negativně. Záleží především na množství vláken a jejich rozmístění. Základní vlastnosti Litracon výrobků jsou uvedeny v tab. 2. [16]

Tabulka 2: Základní vlastnosti průsvitných produktů Litracon

Vlastnosti průhledných betonových vzorků značky Litracon	Průsvitný beton
Způsob	Prefabrikace
Suroviny	96 % beton, 4 % optická vlákna
Objemová hmotnost	2100–2400 kg/m ³
Velikost bloků	600 x 300 mm
Tloušťka	25–500 mm
Barva	Bílá, černá a šedá
Pevnost v tlaku	50 MPa
Pevnost v tahu za ohybu	7 MPa

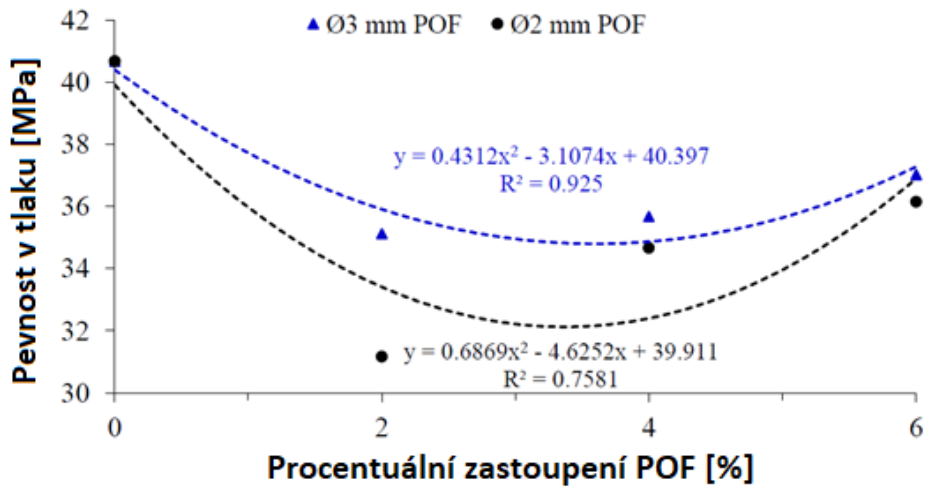
3.7.1 Pevnost v tlaku

Pevnost betonu v tlaku je jedna z nejdůležitějších vlastností a jedna z rozhodujících při návrhu směsi. Názory na to, jak přítomnost optických vláken ovlivňuje pevnost v tlaku, se ve světě liší. Podle článku *Experimental study of light-transmitting concrete* [40] se pevnost betonu v tlaku zvyšuje s vyšším procentuálním zastoupením vláken. Pevnost referenčních vzorků byla o 23 % nižší než pevnost vzorků s obsahem 1,43 % POF. Při větším zvýšení ale pevnost poklesla, stále byla hodnota vyšší než pevnost v tlaku referenčních vzorků. Srovnání pevností je zobrazeno na obrázku O25. Autoři mají za to, že ke snížení došlo vlivem menších rozestupů mezi vlákny, to vede k oslabení a šíření makro trhlin. Nejvyšší pevnosti v této studii na průsvitných vzorcích bylo dosaženo při použití 1,43 % POF o průměru 1,5 mm a rozestupu 10 mm.



Obr. O25: Závislost pevnosti v tlaku na procentuálním zastoupení vláken [O25]

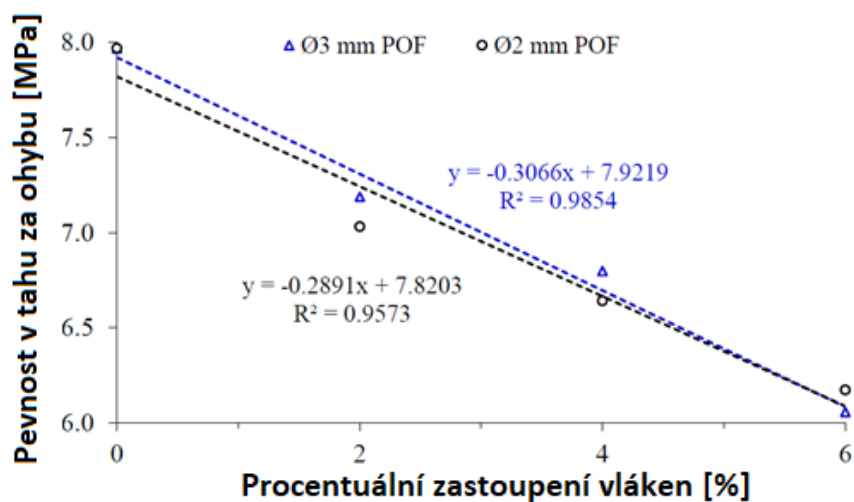
Podle studie *Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete* [33] je pevnost v tlaku průsvitných betonů nižší než u obyčejných betonů. Průběhy jsou zobrazeny v obrázku O26. Pro tuto studii byly použity POF o průměru 2 a 3 mm o objemovém procentuálním zastoupení 2 %, 4 % a 6 %. K tomuto závěru se přiklání většina publikované literatury, je nutné ale říct, že pokles pevností není nijak markantní. Odlišné výsledky jsou zapříčiněny jinými výrobními postupy či množstvím a průměrem vláken.



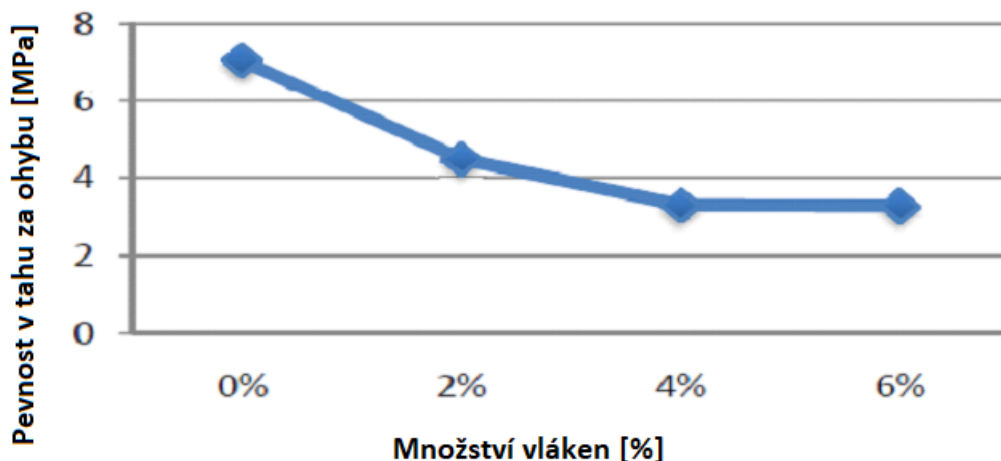
Obr. O26: Pevnost v tlaku [O26]

3.7.2 Pevnost v tahu za ohybu

Pevnost v tahu za ohybu se zkouší na trámcích 40x40x160 mm stejně jako v případě prostých betonů. Přítomnost optických vláken má za následek pokles pevností v tahu za ohybu. Ve studii *Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete* [33] byl pokles pevností téměř lineární při použití vláken o průměru 2 a 3 mm, O27. Ve studii *Basic of light transmitting concrete* [41] byl pokles, od referenčního vzorku pro procentuální zastoupení vláken 2 %, 36 %. Lze vidět na obrázku O28. Při zvýšení obsahu vláken na 4 % došlo k dalšímu poklesu. Tento pokles byl ale o poznání nižší. Při dalším zvedání obsahu vláken už k žádnému poklesu nedocházelo. V této studii bylo použito vláken o průměru 1,5 mm. Z těchto výsledků je patrné, že průměr hraje důležitou roli v případě pevností výsledného betonu.



Obr. O27: Pevnost v tahu za ohybu podle Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete [O27]



Obr. O28: Pevnost v tahu za ohybu podle Basic of light transmitting concrete [O28]

3.7.3 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost průsvitných betonů je v porovnání s obyčejným betonem nižší. Vlákná mají nižší objemovou hmotnost a tím se snižuje i objemová hmotnost výsledného produktu. Objemová hmotnost průsvitných betonů se snižuje s použitím větších průměrů a vyšším obsahem vláken. [14]

3.7.4 Průsvitnost

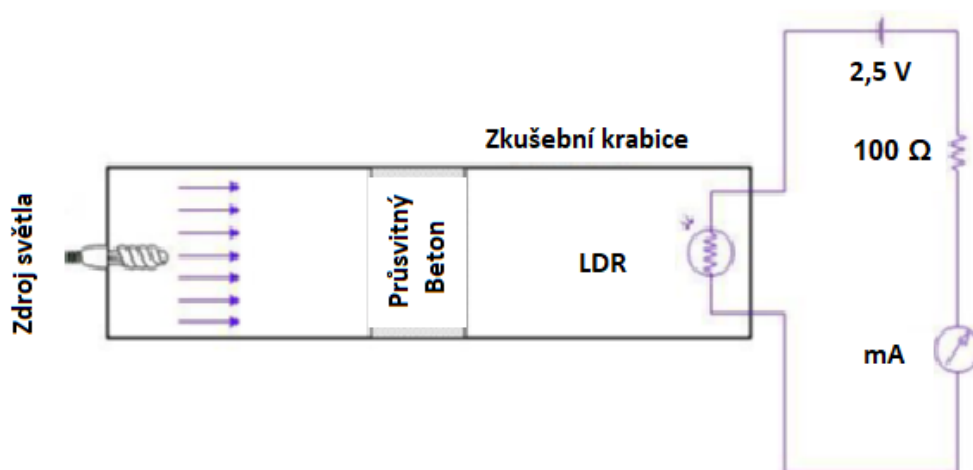
Jedná se o nejdůležitější vlastnost průsvitných betonů. Pro měření prostupu světla se dá použít hned několik zařízení určených pro měření světla. Jedná se o lux

metry nebo solarmetry, avšak jednoduché lux metry se dají vyrobit za použití jednoduchých součástek i v laboratoři. [16, 9]

Prostupnost světla vzorkem může být měřena měřením odpovídajícího proudu světla za pomoci fotodiod nebo světelně závislých rezistorů LDR. V praxi se používají spíše LDR, protože fotodiody vyžadují samostatný senzor, který by zvyšoval náklady projektu. [16, 33, 40]

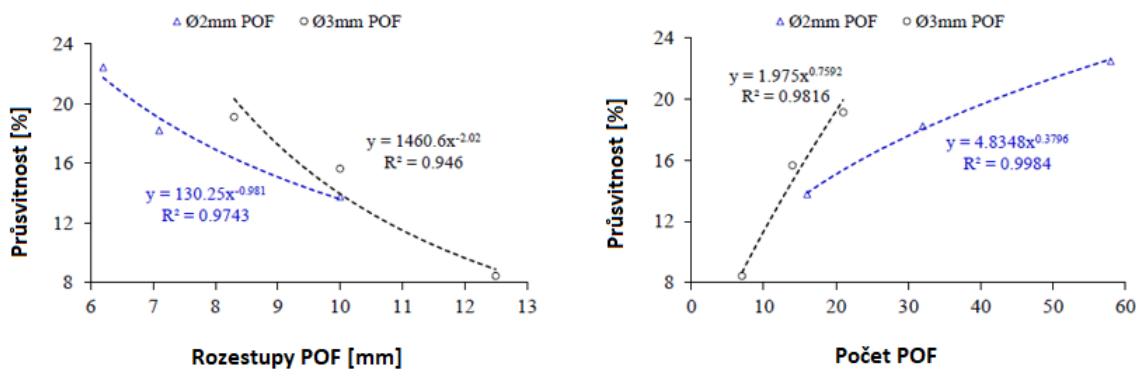
LDR také známý jako foto rezistor je citlivý na světlo, jehož odpor se mění s vlnovou délkou světla. LDR měří světlo procházející vzorkem a převádí ho na elektrický proud, který se měří ampérmetrem v miliampérech mA. Zaznamenávají se dvě hodnoty. A1 je hodnota proudu bez přítomného vzorku a A2 hodnota proudu s přítomností vzorku. Zdroj světla je žárovka o známém výkonu např. 100 W. V elektrickém obvodu se aplikuje odpor 100 Ω a udržuje se stejnosměrné napětí např. 2,5 V, schéma obvodu je k dispozici na obrázku O29. Zkouška se provádí v uzavřené krabici, kde stěny jsou nabarveny na černo, aby se zajistilo, že během testu nedojde ke ztrátě světla. Vzorek se umístí mezi zdroj světla a LDR. Množství procházejícího světla se pak vypočte podle vztahu uvedeného níže. [9, 16, 33, 40]

$$\text{Průsvitnost} = \left(1 - \frac{A1 - A2}{A1}\right) \cdot 100 [\%]$$

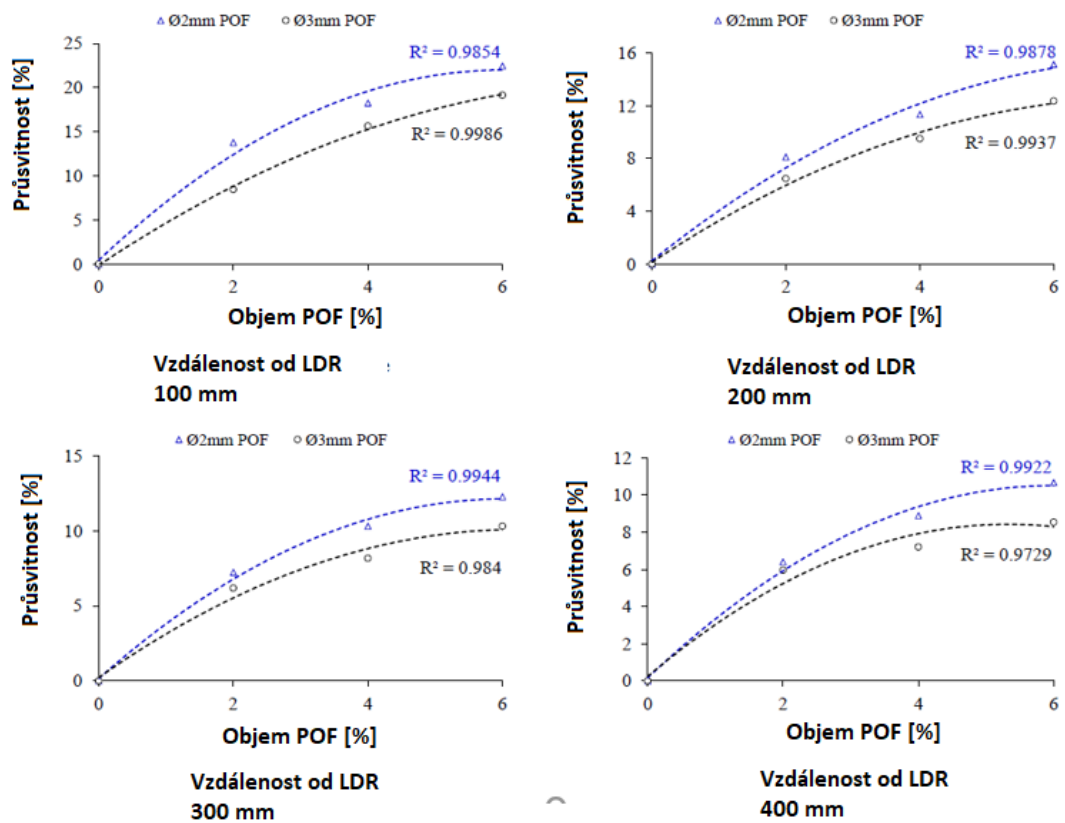


Obr. O29: Schéma zkušební sestavy pro průsvitnost. [O29]

Prostup světla závisí na procentuálním objemu zabudovaných vláken a stupni drsnosti povrchu. Množství procházejícího světla se zvyšuje s vyšším procentuálním objemu vláken bez ohledu na průměr vláken. To je způsobeno tím, že při vyšším objemovém zastoupení se zvedne i počet POF a změní se i jejich rozestupy. Platí, že čím více vláken a menší rozestupy tím vyšší průsvitnost, tento vztah je na obrázku O30. Podle studie *Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete* [32] vykazuje vztah mezi objemovým zastoupením vláken a průsvitností silnou korelaci ve formě kvadratické trendové linie, na obrázku O31. Tento výsledek není ale konečný, podle způsobu měření světla je možné dosáhnout i jiných korelací. Při použití optického měřiče vlnové délky na střední část zkoušeného vzorku, pro zohlednění malého počtu vláken, lze dosáhnout lineárního vztahu mezi objemovým zastoupením POF a průsvitností. Výsledky při měření prostupu světla jsou závislé na vzdálenosti vzorku jak od LDR, tak od zdroje světla. Čím dál je rezistor od zkoušeného vzorku tím nižší hodnoty jsou naměřeny a naopak, stejně to platí pro posouvání světelného zdroje. Pro použití 6 % POF se dá dosáhnout až 22 % průsvitnosti. Tento objem je vhodný pro aplikaci průsvitných fasád nebo panelů. [14]



Obr. O30: Prostup světla v závislosti na množství a rozestupech POF. [O30]

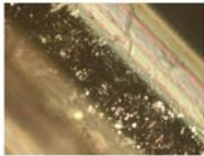
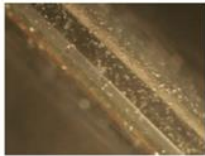
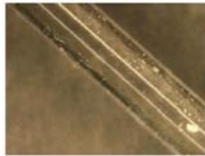

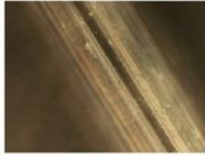
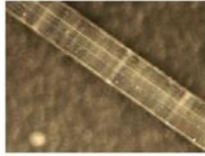
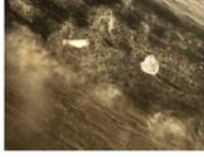



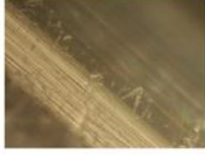



Obr. O31: Prostup světla průsvitnými betony závisí na objemovém zastoupení POF. [O31]

3.7.4 Ostatní

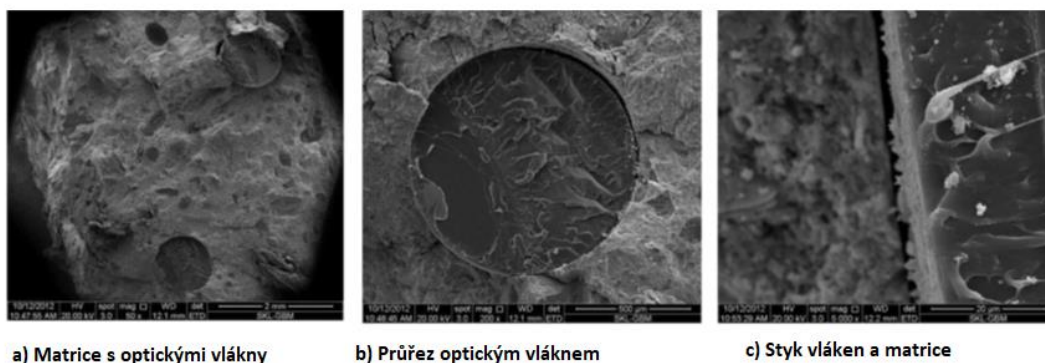
3.7.4.1 Povrch optických vláken a SEM

Optická vlákna se na první pohled jeví jako hladká. Ve skutečnosti je jejich povrch pokrytý rýhami a škrábanci. Snímky z optického mikroskopu ukazují reálný pohled na povrch optických vláken před použitím do průsvitných betonů, obrázek O32.

Poznámka	Zvětšení 20x Clona 0,45	Zvětšení 10x Clona 0,3	Zvětšení 5x Clona 0,45	Průměr [mm]
Čiré a průhledné vlákno, s limpidovým ochranným povlakem a s mnoha škrábanci na plášti				0,30
Čiré a průhledné vlákno a průsvitným pláštěm s malým počtem škrábanců				0,50
Čiré průhledné vlákno, s limpidovým ochranným povlakem a se středním počtem škrábanců				0,75
Čiré a průhledné vlákno, a citlivým ochranným povlakem s mnoha škrábancema				1,50

Obr. O32: Povrch optických vláken. [O32]

Tyto škrábance pak mají za následek ztrátu rozptylu. V matrici jsou poté vlákna rovnoměrně rozmístěna. Z výsledků SEM, rastrovacího elektrického mikroskopu na obrázku O33, je patrná přítomnost mezer mezi matricí a optickými vlákny. Pokud se zaměříme na jedno optické vlákno je na snímkách vidět, že se jedná o kruhový průřez. Vnitřní část vlákna je z materiálu jádra a na vnější části lze pozorovat ultra-tenkou vrstvu obalu, který chrání jádro. To dokazuje morfologii optických vláken, což je užitečné pro bližší porozumění mikrostruktury optických vláken. Zkracováním vláken vzniká tzv. lomová část. Ta vede k rozptylu světelné vlny, což má za následek nepravidelnou distribuci světla na konci vlákna. [9, 40]



Obr. O33: SEM [O33]

3.7.5 Výhody průsvitných betonů

Jednou z hlavních výhod je více přirozeného denního světla uvnitř objektu a díky tomu nižší náklady na energie za osvětlení během dne. Poskytuje světlo i do míst, kam se přirozeně nedostane, jako například do vnitřních buněk, kde není možné aplikovat okno nebo v případě řadových domů. [7, 14, 20, 22]

Bloky mohou fungovat jako tepelný izolátor v chladných oblastech. [14, 20]

Jejich teoretické využití jako protihlukové stěny či příjezdové cesty a obrubníky s možností podsvícení a tím zlepšení jak viditelnosti obecně, tak zvýraznění daných výrobků. [7]

Poskytují zvýšenou viditelnost a přehled díky zobrazení stínu a zadní straně betonu. Například jako dělicí stěny v muzeích nebo ve věznicích. [14, 22]

Má velmi kladný estetický dojem a je zajímavým materiálem pro architekty. [7, 20]

3.7.6 Nevýhody

Hlavní nevýhodou je vysoká cena způsobená optickými vlákny. Velká pracnost a nutnost odborné práce. Jelikož se materiál stále vyvíjí, tak je náročný na výrobu. Je důležitá přesnost osazení vláken a tím se zvyšuje i pracnost. [7, 14, 22]

3.7.7 Porovnání s obyčejnými betony

Průhledný beton je mnohem nákladnější než konvenční beton, má ale velmi kladný estetický efekt a pevnost v tlaku je téměř srovnatelná, ale pevnost v tahu za ohybu je mnohem nižší a existuje lineární závislost mezi množstvím optických vláken a pevností v tahu za ohybu. Jejich objemová hmotnost je nižší kvůli přidavku optických vláken. Jsou ale částečně transparentní a dokážou dostat více světla do budovy, aniž by se konstrukce musela oslabovat otvory. [14, 22]

3.8 Dostupnost optických vláken v ČR

V ČR existují e-shopy a firmy podnikající v optickém průmyslu. Optická vlákna neboli kabely jsou vyráběna a prodávána pro účely komunikace. A to zejména pokud mluvíme o skleněných optických vláknech. Skleněná optická vlákna neboli GOF nabízí český e-shop LAPP. Kabely jsou více vrstvé s izolantem a je přítomno více skleněných vláken taková kabel není vhodný pro použití do betonu. Vlákna musí být zastoupena jednotlivě a nejlépe bez izolantu neboli bufferu. Ten snižuje soudržnost s betonem a

vlákna sama o sobě nejsou v buffer nijak zvlášť připevněna. Cena těchto skleněných kabelů se pohybuje okolo 7 tisíc korun za 100 m. [14, 42]

E-shop LAPP nabízí i POF kabely, ale také izolované. Jak už bylo zmíněno, výše kabely se v optickém průmyslu moc nevyužívají a jsou spíše pro dekorativní aplikace. Česká firma OPTOKON a.s. je česká firma vyrábějící aktivní a pasivní prvky pro vláknovou optiku. Specializuje se na výstavbu a měření datových sítí pro vojenské účely. V katalogu výrobků této firmy jsou dva typy vláken, které by mohly být teoreticky použitelné. Problém je ale stejný jako v předešlém případě i tyto dva typy POF mají buffer. Po domluvě s výrobcem by se mohly vlákna vydávat i bez izolantu. [42, 43]

Conrad je český e-shop pro optickou techniku. Na rozdíl od zbytku má mezi svými produkty i neizolované POF. Parametry těchto vláken nejsou v rozporu s použitím do betonu. Jelikož se jedná o plastová vlákna je jejich průměr větší a to od 0,5 mm do 2 mm, a proto se jedná o multi-mode. Vlákna se dají koupit po metrech nebo v cívkách. Jediným problémem je, že vlákna jsou prohnutá. Může za to způsob skladování v cívkách vláken, kdy jsou pak zdeformovaná a pro lepší práci je nutné je narovnat. Přehled vhodných vláken a jejich cena je uveden níže. [44]

Tabulka 3: Optické kabely použitelné pro aplikaci do betonu e-shop Conrad

Způsob prodeje	Průměry POF [mm]									
	0,5		0,75		1,0		1,5		2,0	
	Délka [m]	Cena [Kč]	Délka [m]	Cena [Kč]	Délka [m]	Cena [Kč]	Délka [m]	Cena [Kč]	Délka [m]	Cena [Kč]
Cívka	25	279	25	299	-	-	-	-	-	-
	50	429	-	-	50	769	-	-	-	-
	100	819	100	959	-	-	-	-	-	-
Způsob prodeje	Cena za metr [Kč]									
	Průměry POF [mm]									
	0,5		0,75		1,0		1,5		2,0	
Metrové zboží	17		20		27		51		119	

3.9 Aplikace

Použití průsvitných betonových bloků je velmi rozmanité. Vložení bloků jako „prosklená část“ do vchodových dveří nebo vytvoření stěny vedle umožní obyvatelům i návštěvníkům přehled o osobách jak venku, tak za prostorem dveří. Firma Luccon vyrobila vstupní vrata ze svých průsvitných bloků. Vrata jsou zobrazeny na obrázku O34. [22]



Obr. O34: Příjezdová vrata do firmy Luccon, Maďarsko [O34]

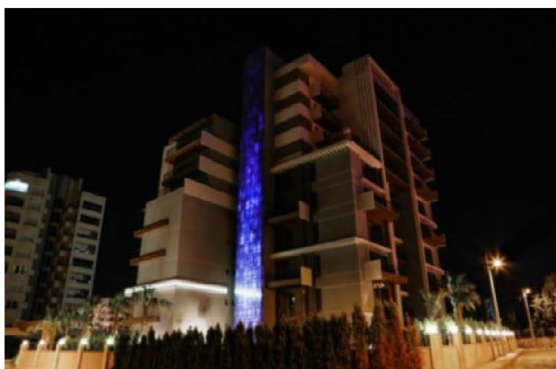
Průsvitné zdi jsou ideální pro restaurace, kluby a další sociální zařízení. Pomáhají udržet přehled o množství lidí uvnitř a zároveň poskytují soukromí. Pro použití jako dělící příčky v kancelářích dopřejí zaměstnancům více denního světla. Použití jako lehký podsvícený obvodový plášť nebo jako obvodové zdivo má kladný efekt na estetiku a originalitu dané budovy. Na obrázku O35 je zobrazeno několik málo referenčních staveb firmy Lucem, která zabudovává svoje průsvitné betonové prvky do fasád budov. [19, 22, 40]



A)



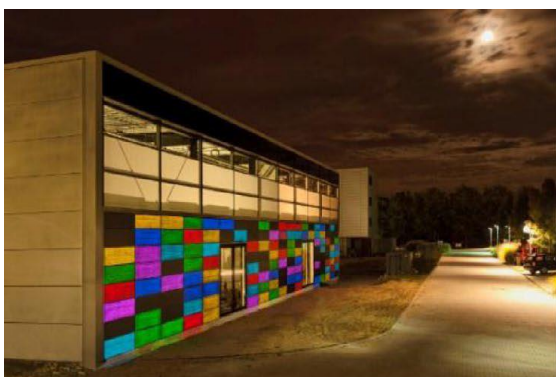
B)



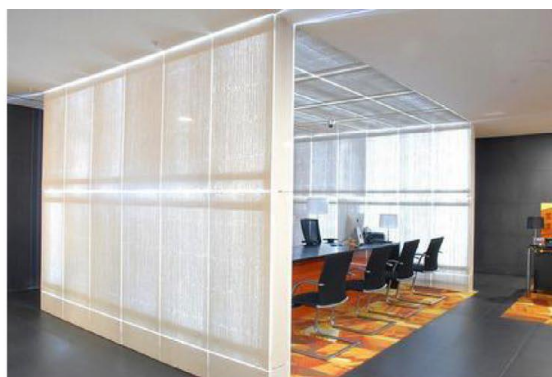
C)



D)



E)



F)

Obr. 035: Referenční stavby firmy Lucem [O35]

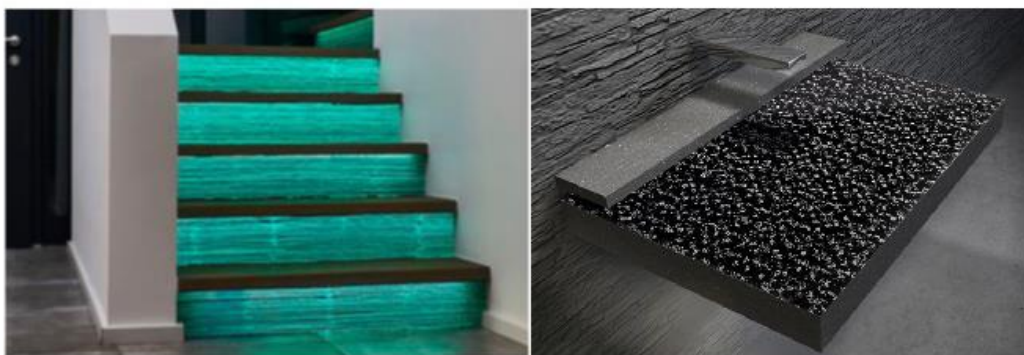
Na obrázku A) je mešita v Abú Dhabí stavba byla dostavěna v roce 2015 tloušťka průsvitných bloků je 30 až 40 mm a celková plocha průsvitných bloků činí 525 m². B) se nachází v Šanghaji, dostavěna byla v roce 2010 a plocha průsvitných bloků je 1887 m². C) Hotel v Itzmit, Turecko dokončen v roce 2015 tloušťka prvků 15 mm a plocha 300 m². D) Berlín dokončeno v roce 2014 byly použity bloky tloušťky 20 mm na plochu 60 m². E) Fasáda haly v Tbilisi, Gruzie dokončena v roce 2011 tloušťka bloků je 15 mm a plocha 300 m². F) Cáchy kancelářská buňka dokončena v roce 2012 plocha 102 m². [22, 40]

Aplikovat průsvitný beton na stropy velkých firemních budov by mohlo snížit náklady na osvětlení během dne a zpříjemnit pracovní prostředí. Průsvitné betony se mohou také využít jako bezpečnostní prvek. Aplikace na parkovištích jako rychlostní nárazníky nebo na dálnicích jako protihlukové stěny nebo pruhy. Podsvícením těchto prvků nebo na odrazem světla od aut, by se zvýšila viditelnost. Podsvícené chodníky by dodaly malebnou krásu i bezpečnost, a proměnily by noční procházky v něco nezapomenutelného. [19, 22, 40]

Zabudováním bloků do schodišť nebo jako materiál pro nábytek se stalo velmi populární pro většinu firem vyrábějících průsvitný beton. Využití ve schodišti vede ke zvýšení bezpečnosti. Je to vhodné jak do domu, tak to občanské výstavby jako například pro účelu metra a letišť. Lamy, respektive stínítka na lamy jsou jedny z nejrozšířenějších interiérových výrobků. Další oblíbenou aplikací je obložení recepcí, barové pulty, podsvícená loga a umyvadla. [19, 22, 40]



Obr. O36: Venkovní osvětlení firmy Lucem [O36]



Obr. O37: Podsvícené schodiště firmy Lucem a umyvadlo od firmy Luccon [O37]

Firma Zospeum vyrábí průsvitné betonové bloky s tepelnou izolací uvnitř pro účely obvodových zdí. Tyto bloky se vyrábí nadvakrát. Jako první se umístí do formy tepelná izolace, tou se protáhnou vlákna na požadovanou tloušťku finálního prvku. Zabetonuje se jedna část a po zatuhnutí se bednění otočí a zabetonuje se druhá část. Prvek se pak brousí a leští. [45]

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1 Cíl

Experimentální část je zaměřena na ověření vybraných způsobů kotvení optických vláken, ze kterých se stanoví návrh postupu výroby a na posouzení průsvitnosti s ohledem na velikost, rozmístění a hustotu vláken umístěných ve výrobcích. Vybrané způsoby kotvení byly protahování, zabodávání do vloženého polystyrenu a volné vkládání. Pro zkoušky byly navržena receptura jemnozrného betonu, kdy byl kladen důraz na tekutost směsi. Z výše uvedených možností vkládání vláken byl vybrán jeden a dle něho byly vyrobeny zkušební vzorky. Byla takto ověřena možnost praktické výroby a metodika zkoušení průsvitnosti. Průsvitnost se stanovila na sedmi vzorcích o třech různých průměrech optických vláken. Pro všechny průměry byly zhotoveny vzorky s počtem vláken 25 a 64, pro průměr 1 mm byl navíc zhotoven vzorek se 196 vláky. Cílem je vybrat vhodný průměr a počet vláken pro výrobu průsvitných betonů.

4.2 Vstupní suroviny

4.2.1 POF

Jako průsvitný prvek byly použity plastová optická vlákna značky Tru components, které nabízí e-shop Conrad Electronics. Tento typ vláken byl vybrán na základě jeho deklarovaných vlastností, které jsou téměř shodné s optickými vlákny používanými v zahraničních studiích, nejsou opatřeny bufferem a jsou dostupná v ČR. Pro experimentální část byly vybrány 3 průměry vláken 0,5 mm, 1 mm a 2 mm. Vlákna mají stejné vlastnosti jen se liší svým průměrem a pevností v tahu. Základní informace jsou zaznamenány v tabulce 4. Zbylé informace jsou obsaženy v technickém listu poskytnutým výrobcem. [T1, T2]

Tabulka 4: Základní informace o použitých POF

Průměr vláken [mm]	Vlastnost kabelu	Poloměr ohybu (n·průměr)	Tepelný rozsah [°C]	Materiál	Index lomu mod	Ztráta přenosu [dB/km]
0,5/1/2	Neizolovaný	10	-50 až +70	PMMA	Step-index Multi-mod	≤ 220

4.2.2 Cement

Jako pojivo byl použit cement CEM I 42,5 R z cementárny Mokrá, která spadá pod společnost Českomoravský cement, a. s. Základní informace jsou obsaženy v tabulce 5. Zbylé informace jsou k dispozici v technickém listu uvedeném v příloze. [T3]

Tabulka 5: Základní informace CEM I 42,5 R

Průměr vláken [mm]	Pevnost v tlaku za 2 dny [MPa]	Pevnost v tlaku za 28 dní [MPa]	Počátek tuhnutí [min]	Konec tuhnutí [min]	Měrný povrch [kg/m ³]
CEM I 42,5 R	30,6	59,7	188	256	391

4.2.3 Kamenivo

Byla použita pouze jedna frakce kameniva a to frakce 0-2 mm. Tato frakce se vytvořila přeseťím frakce 0-4 mm ze Žabčic přes síto o velikost ok 2 mm. Základní informace o frakci 0-4 je uvedena v tabulce 6. Zbylé údaje jsou uvedeny v technickém listu. [T4]

Tabulka 6: Základní informace o kamenivu Žabčice 0-4

Frakce kameniva	Objemová hmotnost [kg/m ³]	Nasákavost [%]	Petrografický název
0-4	2560	2	Fluviální sediment

4.2.4 Plastifikační přísada

Pro výrobu SCM matrice byla použita superplastifikační příměs Mapei Dynamon LZ87 na bázi polykarboxylátového étheru. Doporučené dávkování od výrobce je 0,2 - 1,5 % z hmotnosti cementu. Superplastifikační přísada byla použita v 1% množství z hmotnosti cementu. Veškeré informace jsou dostupné v technickém listu výrobku. [T5]

4.2.5 Příměs

Pro výrobu SCM byla použita příměs jemně mletý vápenec č. 8 od firmy Carmause Mokrá.

4.2.6 Voda

Záměsová voda pro výrobu betonových matric byla použita pitná voda z vodovodního řadu.

4.3 Ověření způsobu připevňování POF

4.3.1 Metodika výroby

Pro ověření způsobu připevňování byly vybrány tři způsoby připevnění vláken. Protahování, zabodávání a volné vkládání. Vzorky byly se vyráběny v ocelových troj formách o rozměrech vzorku 100x100x100 mm. Všechny vzorky se vyráběli z POF o průměru 1 mm a délce 10 mm. Pro zabodávání byla připravena podložka z polystyrénu o tloušťce 3 mm a rozměrech 100x100 mm. Pro protahování byly z formy vyjmuty přepážky a nahrazeny polystyrenovými deskami. Mezi tyto desky byly předem ukotvena vlákna. Vlákna se kotvila nejprve protáhnutím všech vláken jednou deskou. Na první desku se pak přiložila druhá a vlákna byla protažena i druhou deskou a následně byly desky od sebe odsunuty a vytvořili tak tloušťku prvku. Pro volné vkládání nebylo třeba formu nijak upravovat.

Matrici tvořila betonová směs, jejíž jediným požadavkem byla dobrá tekutost a odolnost proti segregaci, aby vyplnila rovnoměrně celou formu. Připravené formy pro zabodávání a protahování byly zality směsí naráz. Forma pro volné vkládání byla lita postupně. Vždy bylo nalito přibližně 1 cm tloušťky betonové směsi a byla vložena vlákna. Takhle bylo pokračováno až do naplnění formy. Vzorky byly po 24 h odformovány. U vzorků se zabodnutými a protaženými vlákny byla přečnívající vlákna zastřižena a povrchu byl zbroušen. Vzorek s volným vkládáním vláken byl taktéž zbroušen, aby se odhalily konce vláken.

4.3.2 Složení betonové směsi

Tabulka 7: Složení betonové směsi

POF 1 mm [Ks na vzorek]	Suroviny matrice [kg/m ³]				
	CEM I 42,5 R Mokrā	Žabčice 0-2 mm	Mapei dynamon LZ87 1,5 % z množství cementu	Jemně mletý vápeneč	Voda
15	600	1100	6	200	300

4.3.3 Vyhodnocení přiřevnění POF

Vyhodnocení bylo provedeno vizuálně. Posuzovala se pracnost výroby, dodržení navržených vzorů a účinnost procházejícího světla. Nejjednodušší na výrobu bylo volné vkládání vláken. Bohužel vlivem dolévání betonové směsi se vlákna postupně vyplavila. Teoreticky by se dalo tomuto jevu zabránit vibrací každé vrstvy. Při prozkoumání se všechna vlákna nacházela zhruba 2 mm pod povrchem betonu, nepředpokládalo se dodržení vzoru, ale pouze přibližné dodržení umístění. Bohužel ani umístění nebylo dodrženo. Světlo vlákny procházelo.

V případě zabadávání šla vlákna zabadnout zlehka a práce s nimi nebyla nijak náročná, ale pouze díky tomu, že vláken bylo použito oproti běžným výrobkům velmi málo. Obvykle mají průsvitné betony 4% objemové množství vláken, v práci bylo použito 0,1% objemového množství vláken. Takto malý počet vláken byl zvolen z důvodu ušetření co nejvíce vláken pro zkoušku prostupu světla. Při nalévání betonové směsi se vlákna mírně ohýbala. To, i skutečnost, že vlákna byla prohnutá už způsobem dodávání v cívce mělo za následek dodržení vzoru pouze na straně podložky. Tato metoda je teoreticky vhodná pro vodorovnou prefabrikaci, kde není potřeba dodržet vzor na obou stranách, jako jsou např. aplikace podsvícených obvodových plášťů nebo barových pultů.



Obr. O38: Vzorky vyráběné metodou zabadávání – vlevo nekotvená vlákna, vpravo vlákna kotvená do podložky

Protahování bylo nejpracnější provedení, také se ale jednalo o jediné provedení, kde byl vzor dodržen na obou stranách vzorku a nedošlo k posunutí vláken. Tento způsob se jeví jako nejméně citlivý na chyby při plnění formy a manipulaci s formou.

4.4 Stanovení průsvitnosti

4.4.1 Metodika výroby

Pro výrobu vzorků na zkoušení prostupu světla byly použity tři průměry vláken, a to 0,5 mm, 1 mm a 2 mm. Vzorky s průměrem vláken 1 mm byly vyráběny za pomoci dvou polystyrenových desek. Mezi těmito deskami byla protažena vlákna, desky se následně od sebe odtáhly a vznikla tak mezera, která určovala tloušťku vzorku. Desky s vlákny byly vloženy do ocelové formy o rozměrech 150x150x150 mm. Prázdné prostory za polystyrénovými deskami byly vyplněny hrubým kamenivem, aby se zamezilo možnému posunutí desek během plnění formy. Byly vyrobeny tři varianty zastoupení vláken a to 25, 64 a 196 kusů. Receptura matrice byla shodná jako v případě ověřování způsobu kotvení.

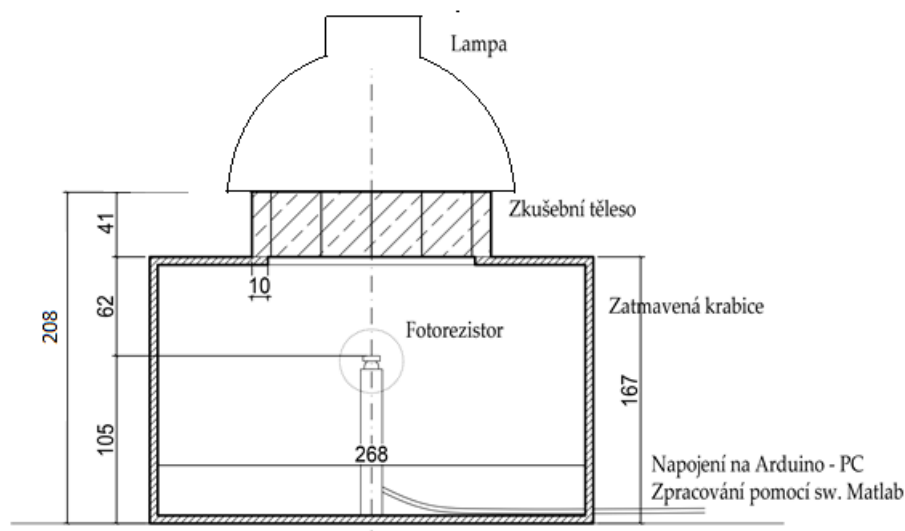
Vzorky s průměrem 2 a 0,5 mm byly vyráběny za pomoci polystyrénové desky a vodovzdorné překližky. Překližka v sobě měla předvrtané otvory pro protahování vláken. Těmito otvory byla vlákna zabadnuta do polystyrénové desky, která byla umístěna pod deskou. Desky se poté od sebe odtáhly na požadovanou tloušťku prvku. Překližka vyměnila v ocelové formě o rozměrech 150x150x150 mm jednu stěnu. Prázdný prostor

za polystyrénovou deskou se opět vysypal hrubým kamenivem. I v tomto případě byla použita stejná receptura jako při ověřování způsobu kotvení.

Po odformování byla seříznuty přečnívající vlákna a povrch byl obroušen, aby byly odhaleny konce vláken. Následně se na vzorcích zkušel prostup světla.

4.4.2 Zkoušení prostupu světla

Prostup světla se zkušel na vzorcích o rozměrech 150x150x40 mm. Pro zkoušení prostupu světla bylo sestaveno zkušební zařízení. To se skládalo ze zdroje světla, fotorezistoru a krabice. V zatmavené krabici se nacházel fotorezistor, který byl napojený na Arduino a dále propojen s počítačem, kde za pomoci programu Matlab byly zpracována naměřené hodnoty. V elektrickém obvodu bylo napětí 5 V. Fotorezistor byl vzdálen 62 mm od otvoru v krabici. Vzorek se umístil na otvor v krabici, na ten se poté položila lampa s led pásky. Podrobné schéma zkušební soustavy je zobrazeno v obrázku O39. Výsledná prostupnost světla se vyjadřovala v procentech z maximální intenzity fotorezistoru při průchodu světla, v závislosti na množství obsažených vláken a objemovému zastoupení vláken z celého vzorku. Fotorezistor měl rozsah 0–1024 bitů.

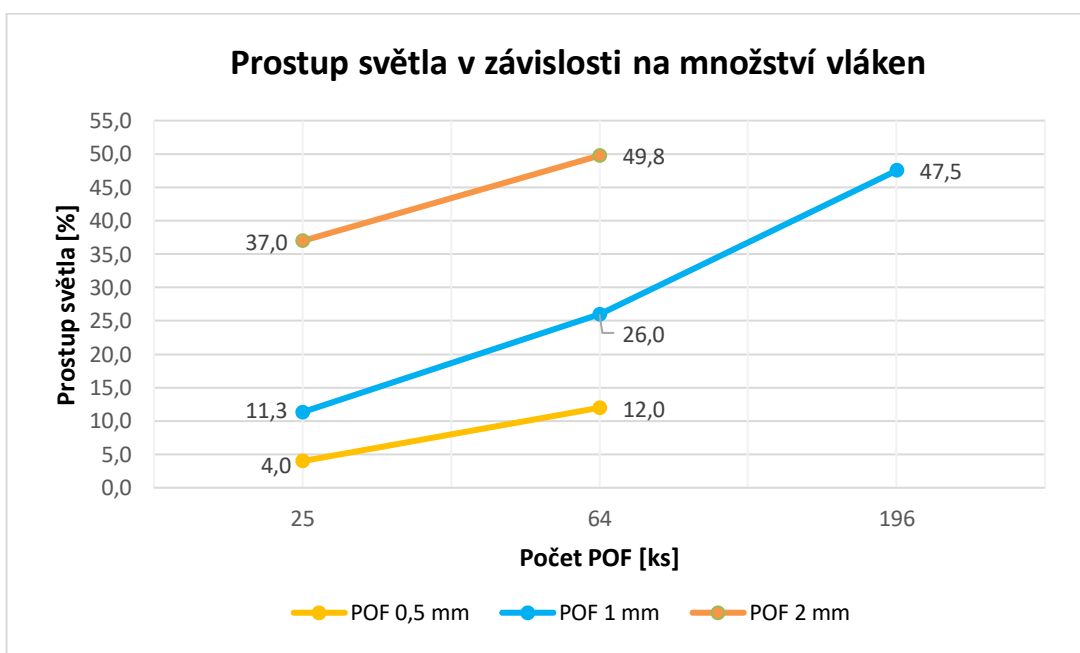


Obr. O39: Schéma zkušební soustavy pro zkoušení prostupu světla

Tabulka 8: Parametry vzorků a naměřené hodnoty prostupu světla

Průměr/počet [mm/ks]	Prostup světla na fotorezistoru bez přítomnosti vzorku		Prostup světla na fotorezistoru se vzorkem	
	[bits]	[%]	[bits]	[%]
0,5/25	689	100	39,48	4,0
0,5/64			118,51	12,0
1/25			111,95	11,3
1/64			257,05	26,0
1/196			469,81	47,9
2/25			365,63	37,1
2/64			491,41	50,2

4.4.2.1 Zkoušení průsvitnosti – grafické znázornění



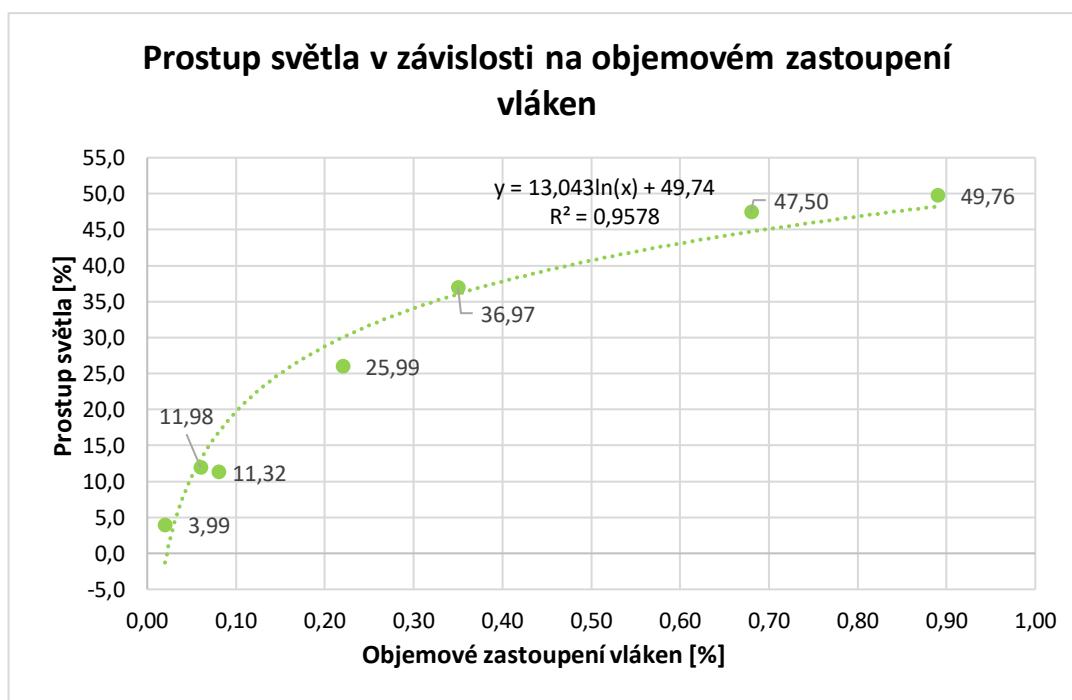
Graf 1: Závislost prostupu světla na množství obsažených POF

Diskuze výsledků:

Jak se předpokládalo větší průměr vláken přeneše více světla, stejně to funguje i s větším počtem vláken v jednom vzorku. V tomto případě byl použit největší průměr

2 mm a jeho hodnota prostupu světla byla téměř 50 %, prostupnost světla pro 1 mm byla v průměru o 50–70 % nižší v závislosti na počtu vláken a v případě 0,5 mm byl pokles až o 90 %.

Dosáhnout 50 % prostupu světla s takto malým počtem vláken by nemělo být reálné. Obvykle se hodnota pohybuje kolem 22 % pro 64 kusů 2 mm vláken. Důvod, proč je hodnota průsvitnosti všech zkoušených vláken vyšší, než by měla být je zapříčiněna zdrojem světla, který byl použit pro měření. Jako zdroj světla byly použity led pásy. Ty byly umístěny zevnitř plechového stínítka. Lesklý povrch stínítka zapříčinil odraz světla, a to padalo na optická vlákna v mnoha úhlech. Optická vlákna byla tedy schopna převést více světla, než je tomu při bodovém svícení, protože množství světla procházející optickými vlákny silně závisí na úhlu dopadu světla. Dají se tedy tyto hodnoty považovat jako maximální dosažitelná průsvitnost daných vláken. Vypovídá to o jejich skrytém potenciálu. V aplikaci jako je například stěna by dosahovala konstrukce přibližně 22 % prostupu světla, pokud by se ale vyráběla například podsvícená barová deska a světlo by mělo možnost se odrážet tento prvek by dosahoval vyšší průsvitností.



Graf 2: Závislost prostupu světla na objemovém zastoupení POF

Diskuze výsledků:

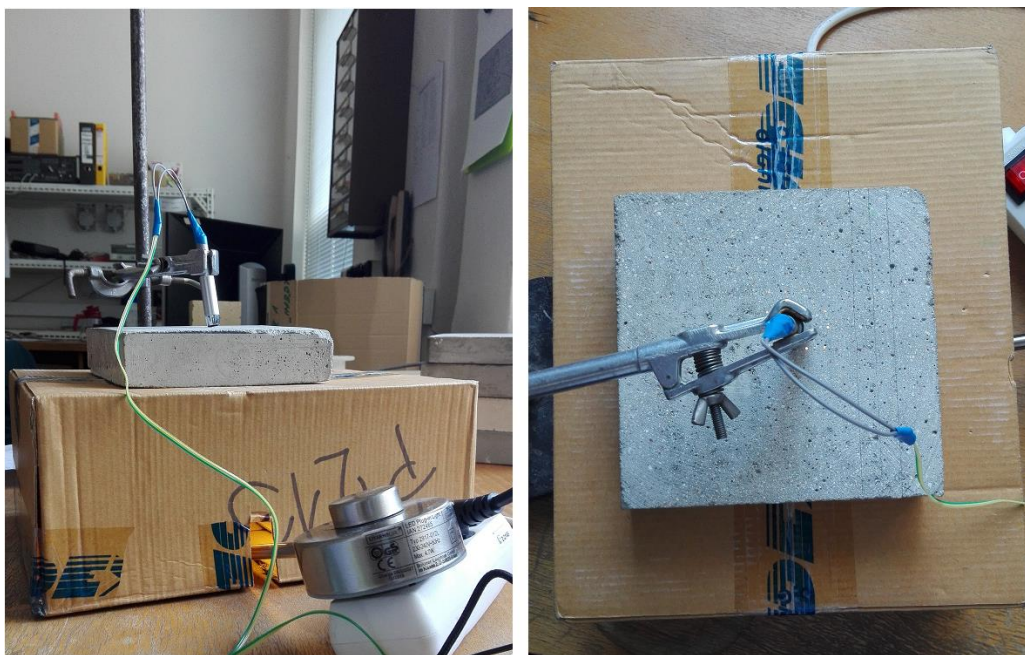
Množství optických vláken se téměř vždy udává v objemovém zastoupení z celého vzorku. Obvyklá hodnota zastoupení vláken ve vzorku se bere jako 4 %. V rámci této práce se dosáhlo nejvýše 1% zastoupení vláken. Při tomto malém zastoupení se

nijak zvlášť neprojevuje vliv průměru jednotlivých vláken. Dá se tedy předpokládat, že prostup světla pro nižší procentuální zastoupení není závislý na průměru vláken ale pouze na ploše, kterou zabírají vůči matrici. V tomto případě se dá předpokládat, že se průsvitnost pohybuje po určité křivce. Z naměřených hodnot má křivka logaritmický charakter. Tato spojnice trendů představuje možnou dosažitelnou průsvitnost výrobků jen v závislosti na objemovém zastoupení vláken. Při použití jak 2 mm tak 1 mm se zastoupením vláken 1 % by se výsledná průsvitnost dle tohoto předpokladu neměla měnit. Pokud se ale zvýší průměr vlákna, začíná se vyšší průsvitnost mírně projevovat. Obecně nižší průměr vlákna má lepší hodnoty průsvitnosti než při použití většího průměru se stejným procentuálním zastoupením. Je to způsobeno větším počtem menších vláken, které dohromady vytváří průsvitnost prvku. Pokud se jedno vlákno jeví jako závadné na celou prostupnost světla nemá takový vliv jako, když je závadné jedno větší vlákno. Obecně se ale uvádí, že průměr při určování prostupu světla není tak důležitý jako zastoupení vláken.

Při výrobě průsvitných betonů se preferuje spíše větší počet tenčích vláken než nižší počet tlustších. Hlavním důvodem je cena. Pokud si vezmeme, že vyrábíme blok o rozměrech 350x350x50 mm s 4% zastoupením vláken a rozhodujeme se mezi průměrem 1 a 2 mm. Pro splnění 4 % je potřeba 6239 kusů 1 mm vláken což činí 312 m. Pro 2 mm vlákna to je 1560 kusů a 78 m. Cena za 1 mm vlákna je 27 Kč/m a pro 2 mm vlákna 119 Kč/m. Celkově vlákna pro jeden blok s použitím 1 mm budou stát 8 667 Kč a s 2 mm 9 282 Kč. Výhoda větších průměru je jejich nižší množství a větší tuhost lépe se s nimi pracuje, ale cena je vyšší. Menší průměry propustí o něco více světla a jsou levnější. Z těchto tří zkušných průměru se nejvhodnější jeví průměr 1 mm. Stále se s vlákny dá pracovat poměrně dobře, cena je příznivější, prostupnost je srovnatelná nebo mírně vyšší s většími průměry navíc celý prvek se pak opticky jeví jako více průsvitný. Malé průměry vláken nejsou tak snáze rozeznatelné okem jako v případě těch větších, výrobek se pak zdá více průsvitný.

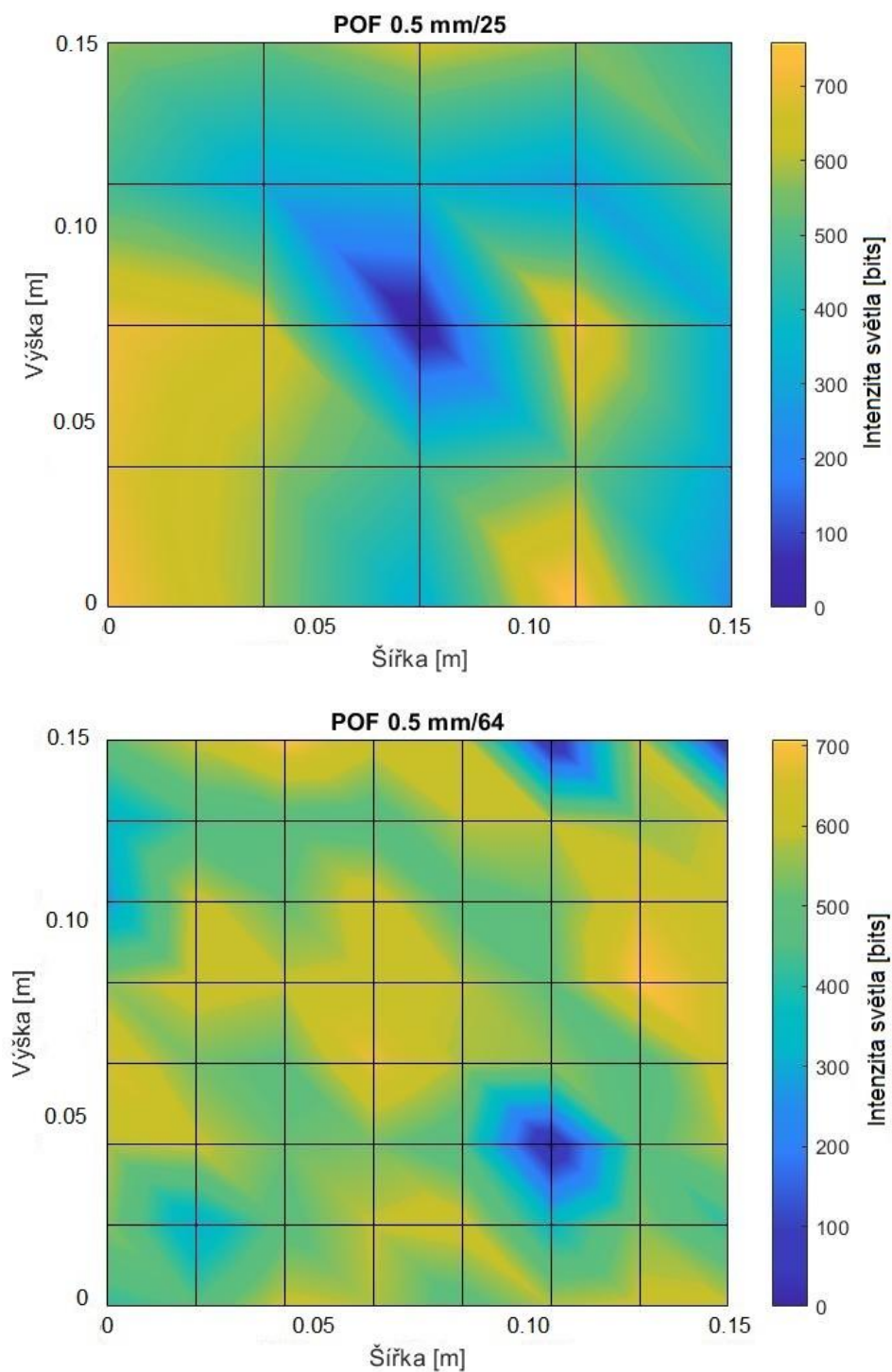
4.4.3 Zkoušení průsvitnosti pro jednotlivé vlákna

Pro měření jednotlivých vláken byla použita podobná měřicí sestava jako v případě prostupu světla celým vzorkem. Tentokrát se zdroj světla nacházel v zatměné krabici. Otvor v krabici měl průměr 5 cm. Jednotlivé vzorky se přikládaly na krabici a postupně se měřilo každé vlákno fotorezistorem umístěným v držáku. Z naměřených hodnot prostupu světla byl sestrojen graf vypovídající o rovnoměrnosti světelného prostupu a jak je jeho intenzita rozdělena. Měřicí zařízení je zobrazeno na obrázku O40.



Obr. O40: Závislost prostupu světla na objemovém zastoupení POF

4.4.3.1 Zkoušení průsvitnosti pro jednotlivé vlákna – grafické znázornění



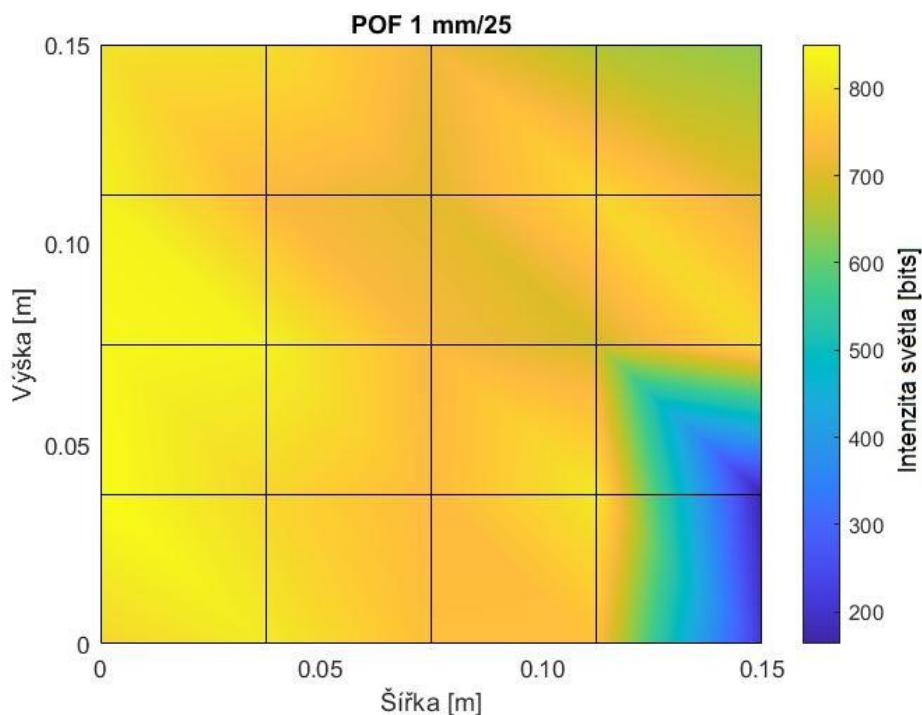
Graf 3: Intenzita prostupu světla pro průměr vlákna 0,5 mm

Diskuze výsledků pro POF 0,5 mm:

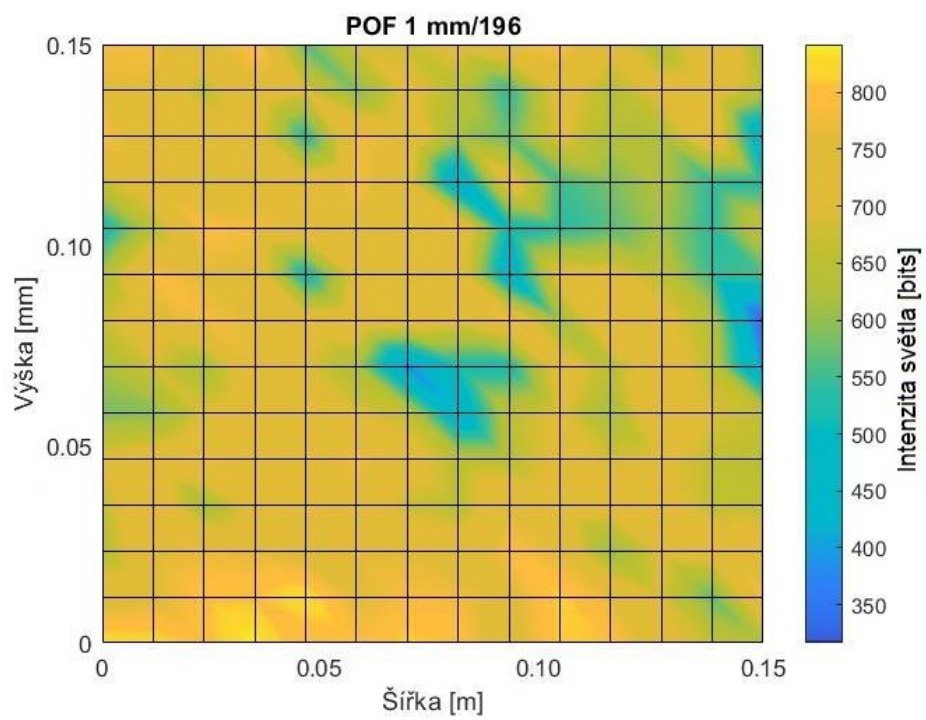
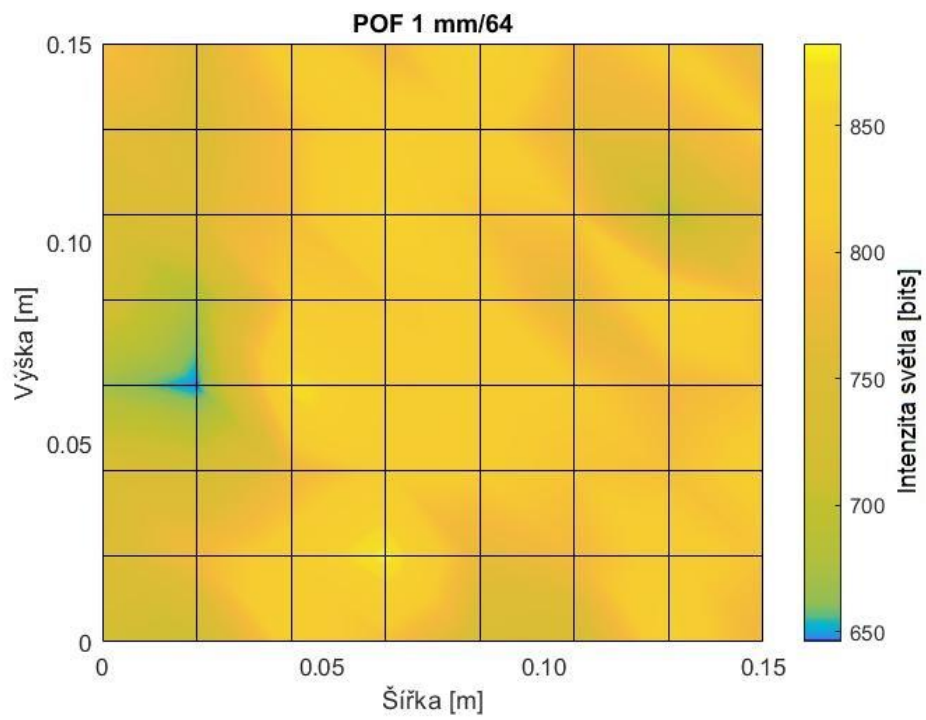
Předpokládalo se, že vyšší počet POF bude dosahovat i rovnoměrnější rozmístění intenzity světla. Tento předpoklad se u průměru POF 0,5 mm potvrdil. V případě 64 vláken se intenzita jeví více rovnoměrná než při 25 vláknech.

Tmavě modrá místa v grafu znázorňují vady výroby. V těchto místech došlo k utopení nebo k poškození vlákna takovým způsobem, že nevedlo žádné světlo. V případě 25 vláken se utopilo jedno vlákno a způsobilo velký pokles intenzity. V případě 64 vláken se utopila tři vlákna. Pokles intenzity pro celý vzorek se nejvíce nejeví tak razantně, jako v prvním případě. Tento průměr vlákna nebyl dostatečně tuhý a špatně se s vlákny pracovalo. Vlákna nedržela v polystyrénové desce, a tak se na jedné straně po nalití betonové směsi uvolnila.

Na povrchu vláken bylo patrné rýhování po broušení a některá vlákna byla zašpiněna cementovým kamenem. I tyto faktory ovlivňovaly rovnoměrnost světla. Téměř všechny světle modrá místa jsou zapříčiněny těmito faktory. Vzorky pro zkoušení prostupu světla nebyly leštěny, ale pouze broušeny. Dá se předpokládat, že pokud by byl povrch leštěn, bylo by možné odstranit některá světle modrá místa.



Graf 4: Intenzita prostupu světla pro průměr vlákna 1 mm

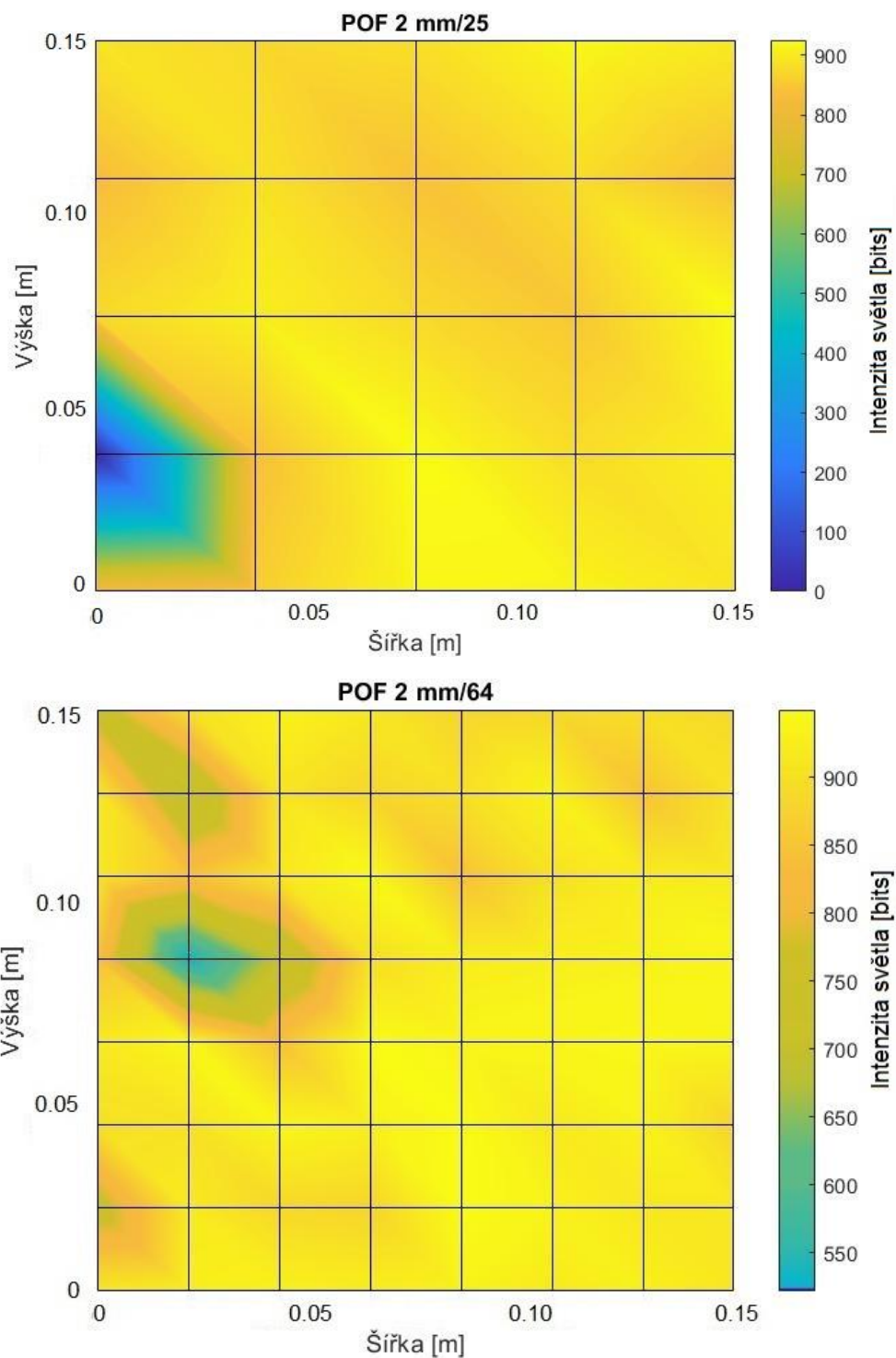


Graf 5: Intenzita prostupu světla pro průměr vlákna 1 mm

Diskuze výsledků pro POF 1 mm:

V případě POF o průměru 1 mm se jeví jako nejkvalitněji vyrobený vzorek se 64 vlákny. Intenzita světla se jeví téměř jako jednolitá s malými poklesy. Nedošlo k žádnému fatálnímu poškození vláken ani zašpinění. V případě 25 vláken se dvě vlákna vlivem broušení mírně poničila a je v těchto místech zaznamenán pokles intenzity světla znázorněný modrou barvou. Při použití 196 vláken se také dosáhlo dobré rovnoměrnosti. Lokální poklesy jsou způsobeny především poškozením, které vzniklo broušením. Některé vlákna se zlomila a nelícovala s matricí, byly mírně zapuštěna. Tím se mírně překryl jejich průměr a tím došlo k poklesu procházejícího světla.

S vlákny se pracovalo poměrně dobře, byla dostatečně tuhá a při menším počtu nejevila problém při upevňování. Při počtu 196 se ale hůře připevňovala a celý proces přípravy byl velmi zdoluhavý. Toto bylo způsobeno typem připevnění, který se zvolil. Pokud by byla speciální forma s otvory pro vlákna z obou stran, dá se předpokládat, že umístění a připevnění vláken nebude problém co se týče náročnosti. Jediným problémem je nutnost ruční práce a čas.



Graf 6: Intenzita prostupu světla pro průměr vlákna 2 mm

Diskuze výsledků pro POF 2 mm:

V případě 2 mm POF je intenzita téměř rovnoměrně rozdělena jak v pro 25 vláken, tak pro 64. Tmavě modrá plocha v případě 25 vláken znázorňuje absenci vlákna. To se během broušení roztříštilo a vůbec nevedlo světlo. Průměr vláken byl na tolik okem

patrný, že poškození vzniklé broušením bylo jasně patrné. Pokles intenzity při 64 vláknech je zapříčiněn právě tímhle.

Diskuze výsledků intenzity světla:

POF o průměru 1 mm se jeví jako nejvýhodnější pro aplikaci do průsvitných betonových bloků ze tří zkoušených POF. Je dostatečně tuhý a dá se s ním poměrně dobře pracovat, má stejné nebo mírně lepší průsvitnosti než vyšší průměry. Intenzita světla je poměrně rovnoměrně rozdělená po celém vzorku, vlákna jsou dostatečně tenká a prvek se pak jeví vizuálně jako více průsvitný. I přes mnohonásobně vyšší počet vláken je cena příznivější než při použití nižšího počtu tlustších vláken. Pokud je cílem vyráběného prvku jevit se co nejvíce jako průsvitný prvek a přenést co nejvíce světla je nižší průměr výhodnější.

5 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo sestavit obšírnou rešerši zabývající se problematikou průsvitných betonů s důrazem na technologii výroby, cenu a dostupnost optických vláken. V experimentální části pak ověřit vybrané způsoby kotvení, posoudit prostup světla na třech různých velikostech vláken, vybrat nejvhodnější průměr a sestavit návrh postupu výroby. Průsvitné betony jsou vyráběny spojením betonové matrice a optických vláken. Tato vlákna díky svojí speciální skladbě jsou schopna vést světlo s minimální ztrátou. Jejich přítomnost, ale vede ke snížení mechanických vlastností za získání nové vlastnosti a to průsvitnosti. Průsvitné betony umožňují projít světlu skrz stěnu a dostat tak přirozené sluneční světlo i do míst, kam by se normálně nedostalo.

Teoretická část se zabývala problematikou technologie průsvitných betonů, která je časově náročná a velmi pracná, z velké části se jedná o ruční práci. Jejich cena je díky tomu v průměru cca třikrát dražší než cena obyčejných betonů. Je to způsobenou optickými vlákny, která umožňují prostup světla výrobkem a pracností při jejich umístění. Tato vlákna stojí kolem 50 korun za metr v případě plastových vláken, cena se odvíjí od jejich průměru, skleněná vlákna se pohybují kolem 70 korun za metr. Počet vláken v jedné tvárnici se pohybuje až v řádech 10 000, jejich množství se vyjadřuje v objemových procentech výrobku obvyklá hodnota je 4 %. Díky rozšířené komunikační technologii, kde se vlákna používají nejčastěji, jsou dostupná i v ČR. Optická vlákna pro použití do betonu by měla být složena z jednoho vlákna a nemít buffer neboli chráničku. Většina optických vláken se ale prodává s chráničkou. Skleněná vlákna se navíc neprodávají jednovláknitá. Společnost Optokon a.s. je česká společnost vyrábějící optická vlákna pro účely vojenského průmyslu, v jejich katalogových listech jsou optická vlákna, která by mohla být teoreticky použitelná pro tuhle aplikaci. Problémem je přítomnost chráničky. Po domluvě, by ale mohlo být možné dodávat vlákna bez chráničky. E-shop Conrad Electronics nabízí plastová optická vlákna v průměrech 0,5 až 2 mm bez chráničky. Dle svých parametrů jsou použitelná pro aplikaci do průsvitných betonů.

Vlákna se dají připevňovat několika způsoby a to protahováním, zabodáváním, za použití tkaniny nebo volným vkládáním. Z těchto způsobů je nejsnazší s nejmenší ruční prací volné vkládání. Tento způsob ale nezaručí dodržení navrženého vzoru a je nemožné ho převést do monolitické výstavby, protože je za potřeby vibračních stolů a sledování poklesu vláken. Protahování je nejvíce časově náročný typ připevnění.

Jednotlivá vlákna se musí ručně umístit do formy a v případě nutnosti i připevnit, aby při plnění nedošlo k uvolnění. Jedná se ale o jediný typ, kde je vzor dodržen z obou stran.

Praktická část se zabývala ověřením způsobu kotvení optických vláken a zkoušením prostupu světla. Vlákna se kotvila zabodáváním, protahováním a volným vkládáním. Z těchto způsobu kotvení se jevílo protahování jako nejvhodnější způsob kotvení. I přes to, že je zapotřebí upravená forma s otvory pro vlákno a vlákna se musí osazovat ručně a tím je celý proces zdoluhavý. Tento proces eliminuje možné chyby při nalévání betonové směsi a manipulaci s formou. Nepotřebuje tak kvalifikovaný personál jako v případě volného vkládání a oproti zabodávání se nemusí dávat pozor při nalévání směsi.

Průsvitnost se zkoušela jak pro celý vzorek, tak pro jednotlivá vlákna. Průsvitnost celým vzorkem deklarovala, kolik světla se dostane z jedné strany vzorku na druhý. Při měření byl použit jako zdroj světla led páska umístěná v plechovém stínítku. Lesklý povrch stínítka zapříčinil odraz světla. Schopnost vést světlo optickým vláknem je silně závislá na úhlu dopadu světla. Proto výsledná průsvitnost byla přibližně dvakrát vyšší, než by tomu mělo být, a to 49 % pro průměr POF 2 mm a množství 64 vláken. Ve většině publikací se měří průsvitnost s bodovým zdrojem světla, který reprezentuje sluneční záření. Světlo se tedy nemá jak odrážet a dopadá na vlákna jen specifické množství světla. Aplikace průsvitného betonu ale není omezena jen na výrobky, které mají přenést sluneční světlo. Toto zjištění je použitelné pro podsvícené výrobky. Pokud se průsvitnost vyjádří v závislosti na procentuálním zastoupení vláken, jednotlivé hodnoty průsvitnosti se stanou logaritmicky závislými na hodnotě procentuálního zastoupení. To jde ruku v ruce s předpokladem, že nezáleží ani tak na průměru POF jak na ploše vláken, kterou zabírají ve vzorku. Dá se říct, že výsledná průsvitnost průsvitných betonů silně záleží na zdroji světla, úhlu dopadu světla a procentuálnímu zastoupení vláken.

Průsvitnost se měřila i pro jednotlivá vlákna. Výsledný povrchový graf pak vypovídá o rovnoměrnosti intenzity světla vzorku a vadách výroby. Z tohoto hlediska se jeví jako nejvhodnější POF o průměru 1 mm. Má dostatečnou tuhost a při manipulaci a přípravě se neláme, dosahuje stejných či vyšších hodnot průsvitnosti jako tlustší průměr při stejném procentuálním zastoupení, výsledný výrobek se jeví jako více průsvitný. Vlákna nesnižují i přes svůj vyšší počet tolik mechanické vlastnosti, jako silnější průměr, a i přes velké množství jsou cenově příznivější než silnější průměr. Na výrobu bloku o velikost 350x350x50 mm je potřeba 312 m POF o 1 mm a 78 m POF o 2 mm. Cena pro 1 mm je 8 667 Kč a pro 2 mm 9 282 Kč.

Návrh postupu výroby pro výrobu bloku z průsvitného betonu.

Návrh se dělí na tři fáze a to přípravnou, výrobní a dokončovací. V přípravné fázi se zvolí rozměr bloku, množství POF, průměr POF, motiv, forma a receptura. Pro docílení co nejvyšší průsvitnosti a zároveň zachování mechanických vlastností se množství volí mezi 4 – 5 %, průměr POF 1 mm, motiv jednoduchá mřížka, forma s otvory ve dvou protilehlých stěnách pro protahování vláken, receptura betonové směsi je velice podobná recepturám pro SCC. Jediným rozdílem je používaná velikost frakce kameniva 0 – 1 mm. Délka formy se volí s ohledem na množství bloků, které chceme vyrábět naráz. Pro výrobu bloku o rozměrech 350x350x50 mm se použije forma o stejných rozměrech nebo pro rychlejší výrobu se délka formy pohybuje v násobcích 50. Celý prvek se pak na jednotlivé bloky rozřeže. Ve výrobní fázi se skládá ze zakotvení vláken a vylití matricí. Vlákna se protáhnou otvory ve formě a mírně předeprnou, aby byla napnutá. Forma se poté vylije betonem. V dokončovací fázi se seříznou přebytečná vlákna, v případě vyrábění více bloků se rozřežou na jednotlivé bloky, povrchy s vlákny se zbrousí a vyleští.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

6.1 Seznam použité literatury:

- [1] *Konference Speciální betony: vlastnosti, technologie, aplikace: sborník příspěvků*
Praha: Sekurkon, 2008, 7. ISBN 978-80-86604-50-3
- [2] KIM, Byoungil a Yoon-Jung HAN. Flexural Performance of Transparent Plastic Bar Reinforced Concrete. *Applied Sciences* [online]. 2018, **8**(3) [cit. 2020-02-13]. DOI: 10.3390/app8030325. ISSN 2076-3417. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/2076-3417/8/3/325>
- [3] PEREIRA, C., E. HAMADYK a A. SILVA. Probabilistic analysis of the durability of architectural concrete surfaces. *Applied Mathematical Modelling* [online]. 2020, **77**, 199-215 [cit. 2020-02-13]. DOI: 10.1016/j.apm.2019.07.031. ISSN 0307904X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0307904X19304329>
- [4] PROPERTIES AND PARAMETERS. *Blingcrete* [online]. Německo: BlingCrete™ Büro Berlin / Heike Klusmann, 2014 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <http://www.blingcrete.com/category/properties-and-parameters/>
- [5] RECKLI artico® neo-Datový list produktu. *Reckli* [online]. USA: US Formliner, 2018 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://www.reckli.com/cs/usformliner/concrete-formliners/visuals/reckli-artico-neo/>
- [6] Foto-Gavur. *Reckli* [online]. USA: US Formliner, 2018 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://www.reckli.com/cs/usformliner/concrete-formliners/visuals/fotogravura/>
- [7] Transparent concrete as an eco-friendly material for building. *International Journal of Engineering Science Invention* [online]. 2016, **5**(3), 55-62 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: [http://www.ijesi.org/papers/Vol\(5\)3/Version-2/I050302055062.pdf](http://www.ijesi.org/papers/Vol(5)3/Version-2/I050302055062.pdf)
- [8] HAN, Baoguo, Liqing ZHANG a Jinping OU. Light-Transmitting Concrete. HAN, Baoguo, Liqing ZHANG a Jinping OU. *Smart and Multifunctional Concrete Toward Sustainable Infrastructures* [online]. 1. Singapore: Springer Singapore, 2017, 2017-06-13, s. 273-283 [cit. 2020-02-28]. DOI: 10.1007/978-981-10-4349-9_15. ISBN 978-981-10-4348-2. Dostupné z: http://link.springer.com/10.1007/978-981-10-4349-9_15
- [9] 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. 2020-02-21]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.055. ISSN 09500618. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815302786>
- [10] *Litracon* [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <http://www.litracon.hu/en/about-us>
- [11] PILIPENKO, Anton, Sofia BAZHENOVA, Anna KRYUKOVA a Mukhamed KHAPOV. Decorative light transmitting concrete based on crushed concrete fines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2018, **365** [cit. 2020-02-13]. DOI: 10.1088/1757-899X/365/3/032046. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/1757-899X/365/i=3/a=032046?key=crossref.23f39cbb65dbc5d1555357d0b3476459>

- [12] LOSONCZI, Aron. *Building block comprising light transmitting fibres and a method for producing the same*. United States. US8091315B2.
- [13] TRANSPARENT CONCRETE. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH TECHNOLOGY* [online]. 2017, 6(3), 305 - 308 [cit. 2020-03-06]. DOI: 10.5281/zenodo.400947. ISSN 2277-9655. Dostupné z: <http://www.ijesrt.com/issues%20pdf%20file/Archive-2017/March-2017/46.pdf>
- [14] GEBREMARIAM, AWETEHAGN TUAUM. *Development of Self-Compacting Translucent Concrete Incorporating Recycled Glass Aggregate for Sustainable Construction* [online]. 2018 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/Development-of-Self-Compacting-Translucent-Concrete-Gebremariam/150e17448061c5429251c782553aeecce0df991e#extracted>. Diplomová práce. PAN AFRICAN UNIVERSITY Institute for Basic Sciences, Technology and Innovation.
- [15] LiCrete® - kombinace nadčasovosti a efektivity. *Stavebnictví3000.cz – věrohodný pohled na stavění a materiály* [online]. 2015 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/licrete-kombinace-nadcasovosti-a-efektivita>
- [16] Momin, Asif & Kadiranaikar, Dr & Jagirdar, Mr.Vakeel.S. & Inamdar,. *Study on Light Transmittance of Concrete Using Optical Fibers and Glass Rods* [online]. inproceedings, 2014 [cit. 2020-03-06]. ISSN 2278-1684. Dostupné z: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jmce/papers/ICAET-2014/ce/volume-1/11.pdf?id=7622>
- [17] KIM, Byoungil. Light Transmitting Lightweight Concrete with Transparent Plastic Bar. *The Open Civil Engineering Journal* [online]. 2017, 11(1), 615-626 [cit. 2020-03-06]. DOI: 10.2174/1874149501711010615. ISSN 1874-1495. Dostupné z: <https://opencivilengineeringjournal.com/VOLUME/11/PAGE/615/>
- [18] *DEVELOPMENT OF LIGHT TRANSMITTING MORTAR* [online]. M.S., 2017 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: http://digital.auraria.edu/content/AA/00/00/65/99/00001/Lampton_ucdenver_0765N_10983.pdf. Master of Science. University of Colorado
- [19] *Optical Fibres in the Modeling of Translucent Concrete Blocks* [online]. 2013, 3(3) [cit. 2020-03-06]. ISSN 2248-9622. Dostupné z: https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue3/D33013017.pdf
- [20] *LIGHT TRANSMITTING CONCRETE* [online]. 2016, 3(3) [cit. 2020-03-06]. ISSN 2395 - 0056. Dostupné z: www.irjet.net
- [21] *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology (IJSET): Experimental Study on Light Transmitting Concrete* [online]. 4. Srivilliputtur: IJSET, 2017 [cit. 2020-02-29]. ISBN 2348 – 7968. Dostupné z: http://ijset.com/vol4/v4s6/IJSET_V4_I06_25.pdf
- [22] *An Overview on Transparent Concrete* [online]. 2018, 5(7) [cit. 2020-03-08]. ISSN 2395-0056.
- [23] PRŮHLEDNÝ BETON JE NÁPAD ROKU. *Material Times* [online]. 2013 [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.materialtimes.com/vsimame-si/pruhledny-beton-je-napad-roku-1.html>

- [24] LiCrete® - beton propouštějící světlo. *Stavební investorské novinky* [online]. 2014 [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/clanek/3212-licreter-beton-propoustejici-svetlo>
- [25] LiCrete, s.r.o. - vítěz soutěže česká inovace 2013. In: *YouTube* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=UOOml9XsYPs>
- [26] SABER, Izadpanah Toos. *Fabrication of Optical fibers* [online]. 2019 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/335160709_Fabrication_of_Optical_fibers
- [27] E. A. SALEH, Bahaa a Malvin CARL TEICH. *Fundamentals of photonics* [online]. New York: Wiley, c1991 [cit. 2020-01-18]. ISBN 0-471-83965-5. Dostupné z: <http://www.physics.usyd.edu.au/~jbh/share/PHYS1901/chapter8-Fibre-Optics.pdf>
- [28] CURRAN, Mark a Brian SHIRK. *Basics of Fiber Optics* [online]. [cit. 2020-01-18]. Dostupné z: <http://www.fibersystems.com/pdf/whitepapers/Basics-of-Fiber-Optics.pdf>
- [29] Allan W.B. *Fibre optics: Theory and Practice* [online]. New York: Plenum press, 1973 [cit. 2020-01-18]. ISBN 978-1-4684-2040-1.
- [30] Optical Fiber Technology: When to Choose Glass vs. Plastic Fiber. *Lumitex* [online]. 2018 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://www.lumitex.com/blog/optical-fiber-technology>
- [31] KOIKE, Yasuhiro a Kotaro KOIKE. Progress in low-loss and high-bandwidth plastic optical fibers. *Journal of polymer science: Polymer Physics* [online]. 2011, 49(1), 2-17 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/polb.22170>
- [32] LUO, Yanhua, Binbin YAN, Qijin ZHANG, Gang-Ding PENG, Jianxiang WEN a Jianzhong ZHANG. Fabrication of Polymer Optical Fibre (POF) Gratings. *Sensors* [online]. 2017, 17(3) [cit. 2020-01-20]. DOI: 10.3390/s17030511. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/3/511>
- [33] *Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete* [online]. 2018, 13(2) [cit. 2020-03-12]. ISSN 0973-4562
- [34] Self-Compacting Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology* [online]. 2003, 1(1), 5 -15 [cit. 2020-03-12]. DOI: doi.org/10.3151/jact.1.5. ISSN 1347-3913. Dostupné z: https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/1/1/1_1_5/_article/-char/ja/
- [35] GEIKER, M. a S. JACOBSEN. Self-compacting concrete (SCC). *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete* [online]. Elsevier, 2019, 2019, s. 229-256 [cit. 2020-02-22]. DOI: 10.1016/B978-0-08-102616-8.00010-1. ISBN 9780081026168. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081026168000101>
- [36] Self-Compacting High Performance Concrete. *Journal Structural Engineering International* [online]. 1996, 6(4), 269 - 270 [cit. 2020-03-12]. DOI: doi.org/10.2749/101686696780496292. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/citedby/10.2749/101686696780496292?scroll=top&needAccess=true>
- [37] CUI, Wei, Wei-shuo YAN, Hui-fang SONG a Xin-li WU. DEM simulation of SCC flow in L-Box set-up: Influence of coarse aggregate shape on SCC flowability. *Cement and Concrete*

Composites [online]. 2020, **109** [cit. 2020-02-22]. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2020.103558. ISSN 09589465. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958946520300500>

[38] KIM, Jae Hong, Hong Jae YIM a Seung Hee KWON. Quantitative measurement of the external and internal bleeding of conventional concrete and SCC. *Cement and Concrete Composites* [online]. 2014, **54**, 34-39 [cit. 2020-02-22]. DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2014.05.006. ISSN 09589465. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0958946514000833>

[39] *Povrchy betonu*. 137. Praha: Beton TKS, 2008. ISBN 978-80-254-3863-3.

[40] ALTLOMATE, Abdelmajeed, Faesal ALATSHAN, Fidelis MASHIRI a Mohamed JADAN. Experimental study of light-transmitting concrete. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* [online]. 2017, **7**(3-4), 133-139 [cit. 2020-03-25]. DOI: 10.1080/2093761X.2016.1237396. ISSN 2093-761X. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2093761X.2016.1237396>

[41] *Basics of Light Transmitting Concrete* [online]. 2013, **2**(3) [cit. 2020-03-25]. ISSN 2315-5124.

[42] *Lapp Česká Republika* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <https://lappczech.lappgroup.com/produkty/online-katalog-e-shop/opticke-systemy-prenosu-dat.html>

[43] *Optokon* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <http://www.optokon.cz/>

[44] *Conrad* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: www.conrad.cz

[45] *Zospeum* [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <http://www.zospeum.com>

6.2 Použité zdroje obrázků:

[O01] PROPERTIES AND PARAMETERS. *Blingcrete* [online]. Německo: BlingCrete™ Büro Berlin / Heike Klussmann, 2014 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <http://www.blingcrete.com/category/properties-and-parameters/>

[O02] Foto-Gavur. *Reckli* [online]. USA: US Formliner, 2018 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://www.reckli.com/cs/usformliner/concrete-formliners/visuals/fotogravura/>

[O03] *Litracon* [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <http://www.litracon.hu/en/about-us>

[O04] *Litracon* [online]. [cit. 2020-02-21]. Dostupné z: <http://www.litracon.hu/en/about-us>

[O05] LOSONCZI, Aron. *Building block comprising light transmitting fibres and a method for producing the same*. United States. US8091315B2.

[O06] LiCrete® - kombinace nadčasovosti a efektivity. *Stavebnictví3000.cz – věrohodný pohled na stavění a materiály* [online]. 2015 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: <https://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/licrete-kombinace-nadcasovosti-a-efektivita>

[O07] *DEVELOPMENT OF LIGHT TRANSMITTING MORTAR* [online]. M.S., 2017 [cit. 2020-03-06]. Dostupné z: http://digital.auraria.edu/content/AA/00/00/65/99/00001/Lampton_ucdenver_0765N_10983.pdf. Master of Science. University of Colorado.

- [O08] KIM, Byoungil. Light Transmitting Lightweight Concrete with Transparent Plastic Bar. *The Open Civil Engineering Journal* [online]. 2017, **11**(1), 615-626 [cit. 2020-03-06]. DOI: 10.2174/1874149501711010615. ISSN 1874-1495. Dostupné z: <https://opencivilengineeringjournal.com/VOLUME/11/PAGE/615/>
- [O09] LiCrete, s.r.o. - vítěz soutěže česká inovace 2013. In: *YouTube* [online]. [cit. 2020-03-09]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=UOOmI9XsYPs>
- [O10] What is an optical fiber? In: *Smartoptics* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.smartoptics.com/article/what-is-an-optical-fiber/>
- [O11] E. A. SALEH, Bahaa a Malvin CARL TEICH. *Fundamentals of photonics* [online]. New York: Wiley, c1991 [cit. 2020-01-18]. ISBN 0-471-83965-5. Dostupné z: <http://www.physics.usyd.edu.au/~jbh/share/PHYS1901/chapter8-Fibre-Optics.pdf>
- [O12] SABER, Izadpanah Toos. *Fabrication of Optical fibers* [online]. 2019 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/335160709_Fabrication_of_Optical_fibers
- [O13] SABER, Izadpanah Toos. *Fabrication of Optical fibers* [online]. 2019 [cit. 2020-01-20]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/335160709_Fabrication_of_Optical_fibers
- [O14] LUO, Yanhua, Binbin YAN, Qijin ZHANG, Gang-Ding PENG, Jianxiang WEN a Jianzhong ZHANG. Fabrication of Polymer Optical Fibre (POF) Gratings. *Sensors* [online]. 2017, **17**(3) [cit. 2020-01-20]. DOI: 10.3390/s17030511. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/3/511>
- [O15] LUO, Yanhua, Binbin YAN, Qijin ZHANG, Gang-Ding PENG, Jianxiang WEN a Jianzhong ZHANG. Fabrication of Polymer Optical Fibre (POF) Gratings. *Sensors* [online]. 2017, **17**(3) [cit. 2020-01-20]. DOI: 10.3390/s17030511. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/3/511>
- [O16] LUO, Yanhua, Binbin YAN, Qijin ZHANG, Gang-Ding PENG, Jianxiang WEN a Jianzhong ZHANG. Fabrication of Polymer Optical Fibre (POF) Gratings. *Sensors* [online]. 2017, **17**(3) [cit. 2020-01-20]. DOI: 10.3390/s17030511. ISSN 1424-8220. Dostupné z: <http://www.mdpi.com/1424-8220/17/3/511>
- [O17] KIM, Byoungil. Light Transmitting Lightweight Concrete with Transparent Plastic Bar. *The Open Civil Engineering Journal* [online]. 2017, **11**(1), 615-626 [cit. 2020-03-06]. DOI: 10.2174/1874149501711010615. ISSN 1874-1495. Dostupné z: <https://opencivilengineeringjournal.com/VOLUME/11/PAGE/615/>
- [O18] *Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete* [online]. 2018, **13**(2) [cit. 2020-03-12]. ISSN 0973-4562.
- [O19] *Basics of Light Transmitting Concrete* [online]. 2013, **2**(3) [cit. 2020-03-25]. ISSN 2315-5124
- [O20] Han, B., Zhang, L., & Ou, J. (2017). *Light-Transmitting Concrete. Smart and Multifunctional Concrete Toward Sustainable Infrastructures*, 273–283. doi:10.1007/978-981-10-4349-9_15
- [O21] Han, B., Zhang, L., & Ou, J. (2017). *Light-Transmitting Concrete. Smart and Multifunctional Concrete Toward Sustainable Infrastructures*, 273–283. doi:10.1007/978-981-10-4349-9_15
- [O22] 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. 2020-02-21]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.055. ISSN 09500618. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815302786>
- [O23] 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. 2020-02-21]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.055. ISSN 09500618. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815302786>

- [O24] 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. 2020-02-21]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.055. ISSN 09500618. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815302786>
- [O25] ALTLOMATE, Abdelmajeed, Faesal ALATSHAN, Fidelis MASHIRI a Mohamed JADAN. Experimental study of light-transmitting concrete. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* [online]. 2017, **7**(3-4), 133-139 [cit. 2020-03-25]. DOI: 10.1080/2093761X.2016.1237396. ISSN 2093-761X. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2093761X.2016.1237396>
- [O26] *Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete* [online]. 2018, **13**(2) [cit. 2020-03-12]. ISSN 0973-4562
- [O27] *Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete* [online]. 2018, **13**(2) [cit. 2020-03-12]. ISSN 0973-4562
- [O28] *Basics of Light Transmitting Concrete* [online]. 2013, **2**(3) [cit. 2020-03-25]. ISSN 2315-5124.
- [O29] *Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete* [online]. 2018, **13**(2) [cit. 2020-03-12]. ISSN 0973-4562
- [O30] *Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete* [online]. 2018, **13**(2) [cit. 2020-03-12]. ISSN 0973-4562
- [O31] *Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete* [online]. 2018, **13**(2) [cit. 2020-03-12]. ISSN 0973-4562
- [O32] ALTLOMATE, Abdelmajeed, Faesal ALATSHAN, Fidelis MASHIRI a Mohamed JADAN. Experimental study of light-transmitting concrete. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* [online]. 2017, **7**(3-4), 133-139 [cit. 2020-03-25]. DOI: 10.1080/2093761X.2016.1237396. ISSN 2093-761X. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2093761X.2016.1237396>
- [O33] 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. 2020-02-21]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.055. ISSN 09500618. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815302786>
- [O34] *Optical Fibres in the Modeling of Translucent Concrete Blocks* [online]. 2013, **3**(3) [cit. 2020-03-06]. ISSN 2248-9622. Dostupné z: https://www.ijera.com/papers/Vol3_issue3/D33013017.pdf
- [O35] ALTLOMATE, Abdelmajeed, Faesal ALATSHAN, Fidelis MASHIRI a Mohamed JADAN. Experimental study of light-transmitting concrete. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development* [online]. 2017, **7**(3-4), 133-139 [cit. 2020-03-25]. DOI: 10.1080/2093761X.2016.1237396. ISSN 2093-761X. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2093761X.2016.1237396>
- [O36] Lucem lights. In: *Lucem* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.lucemlights.com/product-page/one-cubes>
- [O37] ÜBERZEUGENDE REFERENZEN. In: *Luccon* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://www.luccon.com/referenzen/#filter>
- [O37] Lucem interior. In: *Lucem* [online]. [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.lucem.com/references-1/lucem-interior/>

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SiO ₂	Oxid křemičitý
SM	Single-mode
MM	Multi-mode
SI	Step-index
GI	Graded-index
GOF	Skleněná optická vlákna
POF	Plastová optická vlákna
OVD	Vnější depozice par
VAD	Parní axiální depozice
MCVD	Modifikovaná chemická depozice par
PCVD	Plazmou aktivovaná chemická depozice par
PMMA	Polymethylmethakrylát
PC	Polykarbonát
PS	Polystyren
COC	Cyklický olefinový kopolymer
CYTOP	Amorfní fluoropolymer
MMA	Směs monomerů
DPS	Difenylsilfid
BPO	Benzoylperoxid
n-BM	N-butylmerkaptanu
IT	Informační technologie
SCC	Samozhutnitelný beton
SCM	Samozhutnitelná malta
CBI	Švédská metoda návrhu SCC
LCPC	Francouzka metoda návrhu SCC
β_p	Počáteční množství vody
VMA	Látky modifikující viskozitu
LDR	Foto rezistor
SEM	Rastrovací elektronický mikroskop

8 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

8.1 Seznam obrázků

Obr. O01: Referenční vzory BlightCrete [O01]	14
Obr. O02: Fotogravura [O02]	15
Obr. O03: Cella Septochora [O03]	16
Obr. O04: You Are Energie [O04]	17
Obr. O05: Schéma výroby LTC [O05]	18
Obr. O06: Výrobní postup betonu Licrete [O06]	19
Obr. O07: Forma pro protahování průsvitných prvků [O07]	20
Obr. O08: Průsvitný beton za použití plastových tyčí a trubek [O08]	22
Obr. O09: Prostorová mřížka LiCrete [O09]	23
Obr. O10: Skladba optického vlákna [O10]	24
Obr. O11: Indexy lomu optických vláken [O11]	26
Obr. O12: Metoda OVD [O12]	27
Obr. O13: Metoda MCVD [O13]	28
Obr. O14: POF vs GOF [O14]	29
Obr. O15: Mezifázová gelová polymerace [O15]	30
Obr. O16: Společné vytlačování [O16]	31
Obr. O17: Nerezová forma pro protahování [O17]	36
Obr. O18: Nerezová forma pro protahování [O18]	37
Obr. O19: Nerezová forma pro protahování [O19]	37
Obr. O20: Princip formy pro zabodávání. [O20]	38
Obr. O21: Průsvitný beton – zabodávání. [O21]	39
Obr. O22: Optická tkanina. [O22]	39
Obr. O23: Metoda A. [O23]	40
Obr. O24: Metoda B. [O24]	40
Obr. O25: Závislost pevnosti v tlaku na procentuálním zastoupení vláken [O25]	42
Obr. O26: Pevnost v tlaku [O26]	43
Obr. O27: Pevnost v tahu za ohybu podle Experimental Evaluation on Light Transmittance Performance of Translucent Concrete [O27]	44
Obr. O28: Pevnost v tahu za ohybu podle Basic of light transmitting concrete [O28] ..	44
Obr. O29: Schéma zkušební sestavy pro průsvitnost. [O29]	45
Obr. O30: Prostup světla v závislosti na množství a rozestupech POF. [O30]	46

Obr. O31: Prostup světla průsvitnými betony závislí na objemovém zastoupení POF. [O31].....	47
Obr. O32: Povrch optických vláken. [O32]	48
Obr. O33: SEM [O33].....	48
Obr. O34: Příjezdová vrata do firmy Luccon, Maďarsko [O34]	52
Obr. O35: Referenční stavby firmy Lucem [O35].....	53
Obr. O36: Venkovní osvětlení firmy Lucem [O36]	54
Obr. O37: Podsvícené schodiště firmy Lucem a umyvadlo od firmy Luccon [O37]	54
Obr. O38: Vzorky vyráběné metodou zabodávání – vlevo nekotvená vlákna, vpravo vlákna kotvená do podložky	60
Obr. O39: Schéma zkušební soustavy pro zkoušení prostupu světla	61
Obr. O40: Závislost prostupu světla na objemovém zastoupení POF	65
Obr. O41: Kotvení vláken: vlevo zabodávání, vpravo protahování	85
Obr. O42: Osazení vláken a následné zalití betonovou matricí: vlevo forma s polystyrenovou podložkou pro zabodávání, vpravo osazení polystyrénových desek s protaženými vlákny	85
Obr. O43: Odformované vzorky pro zkoušení prostupu světla s průměrem vláken 1 mm	86
Obr. O44: Zkušební sestava pro měření prostupu světla celým vzorkem	86

8.2 Seznam tabulek

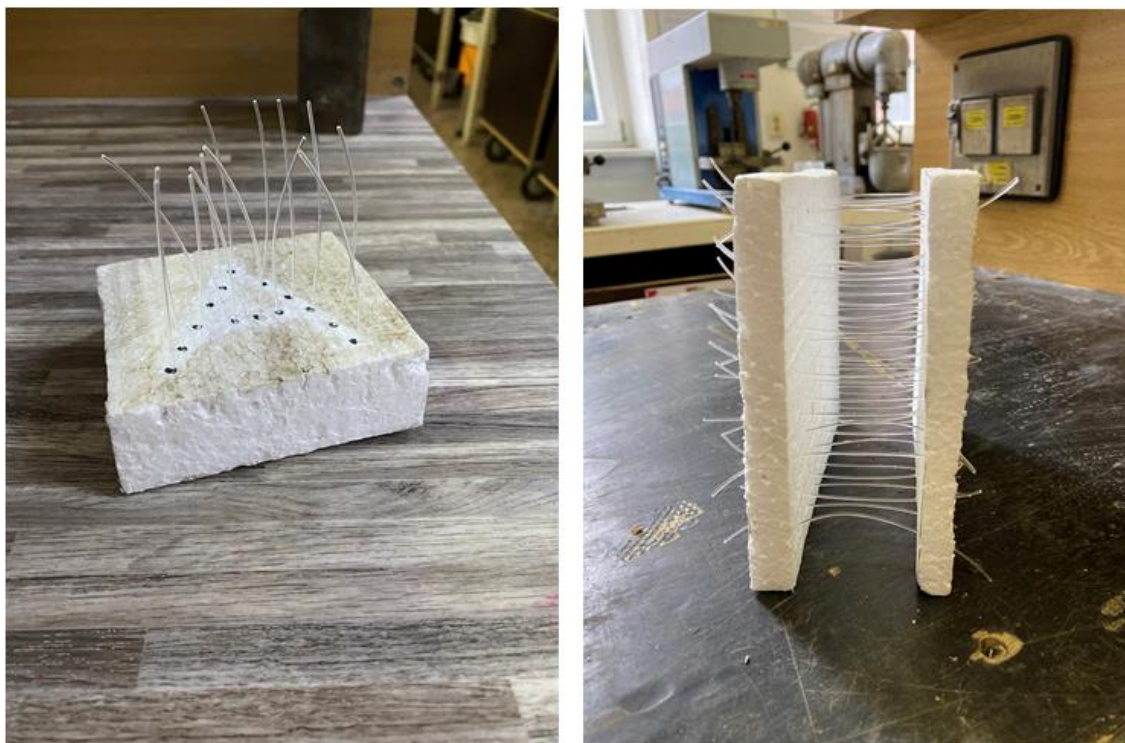
Tabulka 1: Klasifikace průsvitných betonů	32
Tabulka 2: Základní vlastnosti průsvitných produktů Litracon.....	41
Tabulka 3: Optické kabely použitelné pro aplikaci do betonu e-shop Conrad.....	51
Tabulka 4: Základní informace o použitých POF.....	56
Tabulka 5: Základní informace CEM I 42,5 R.....	57
Tabulka 6: Základní informace o kamenivu Žabčice 0-4	57
Tabulka 7: Složení betonové směsi	59
Tabulka 8: Parametry vzorků a naměřené hodnoty prostupu světla	62

8.3 Seznam grafů

Graf 1: Závislost prostupu světla na množství obsažených POF	62
Graf 2: Závislost prostupu světla na objemovém zastoupení POF	63
Graf 3: Intenzita prostupu světla pro průměr vlákna 0,5 mm	66
Graf 4: Intenzita prostupu světla pro průměr vlákna 1 mm	67
Graf 5: Intenzita prostupu světla pro průměr vlákna 1 mm	68
Graf 6: Intenzita prostupu světla pro průměr vlákna 2 mm	70

8.4 Seznam příloh

Fotodokumentace:



Obr. O41: Kotvení vláken: vlevo zabodávání, vpravo protahování



Obr. O42: Osazení vláken a následné zalití betonovou matricí: vlevo forma s polystyrenovou podložkou pro zabodávání, vpravo osazení polystyrénových desek s protaženými vlákny



Obr. 043: Odformované vzorky pro zkoušení prostupu světla s průměrem vláken 1 mm



Obr. 044: Zkušební sestava pro měření prostupu světla celým vzorkem

[T1] – Optický kabel POF Tru components 1 m



Distributed by Conrad Electronic SE • Klaus-Conrad-Str. 1 • D-92240 Hirschau

Datasheet

Item no. 1571473

VL_0021018_01_en

Plastic Fiber Cable, 1.0 mm x 25 M

Product Specifications

Product No: DD-1000

Product parameter: ◆ Fiber Core Material PMMA ◆ Fiber Cladding Material Fluorinated Polymer ◆ Core refractive index 1.492 ◆ Numerical Aperture 0.5 ◆ Number of Fiber 1 ◆ Minimum Bend Radius 20mm		
--	--	--

Specifications:

Item		Unit	Specification	Test Condition
Structural parameters	Core diameter	µm	980±60	JIS C 6862
	Cladding diameter	µm	1000±60	
	Cladding non-circularity	%	≤6	
	Approximate Weight	g/m	1	
Optical properties	Transmission Loss	dB/km	≤220	650nm (JIS C 6863)
	Transmission Loss Under 95%RH	dB/km	240	
Mechanical Characteristics	Repeated Bending Endurance	10000 Times	Loss Increment ≤1dB	JIS C 6861
	Tensile Strength	N	65	
	Twisting Endurance	5Times	Loss Increment ≤1dB	
	Impact Endurance	0.4N.m	Loss Increment ≤1dB	

Operating temperature: -50°C ~+70°C

Application: communication

This is a publication by Conrad Electronic SE, Klaus-Conrad-Str. 1, D-92240 Hirschau (www.conrad.com).
 All rights including translation reserved. Reproduction by any method, e.g. photocopy, microfilming, or the capture in electronic data processing systems require the prior written approval by the editor. Reprinting, also in part, is prohibited. This publication represents the technical status at the time of printing.
 © Copyright 2017 by Conrad Electronic SE.

[T2] – Optický kabel POF Tru components 2 mm



Distributed by Conrad Electronic SE • Klaus-Conrad-Str. 1 • D-92240 Hirschau

Datasheet

Item no. 1571475

VL_2017_01_en

Fiber Light Cable, 2.0mm, 250 meter/ roll

Product Specifications

Product No: VD-2000

Product parameter: ◆ Fiber Core Material PMMA ◆ Fiber Cladding Material Fluorinated Polymer ◆ Core refractive index 1.492 ◆ Numerical Aperture 0.5 ◆ Number of Fiber 1 ◆ Minimum Bend Radius 40mm		
--	--	--

Specifications:

	Item	Unit	Specification	Test Condition
Structural parameters	Core diameter	µm	1980±60	JIS C 6862
	Cladding diameter	µm	2000±60	
	Cladding non circularity	%	<6	
	Approximate Weight	g/m	1	
Optical properties	Transmission Loss	dB/km	≤220	500nm (JIS C 6863)
	Transmission Loss Under 95%RH	dB/km	240	
Mechanical Characteristics	Repeated Bending Endurance	10000 Times	Loss Increment≤ 14dB	JIS C 6861
	Tensile Strength	N	220	
	Twisting Endurance	5Times	Loss Increment ≤1dB	
	Impact Endurance	0.4Nm	Loss Increment ≤1dB	

Operating temperature: -50°C~170°C

Application: communication

This is a publication by Conrad Electronic SE • Klaus-Conrad-Str. 1 • D-92240 Hirschau (www.conrad.com)
 All rights including translation reserved. Reproduction by any method, e.g. photocopy, microfilm, or the capture of electronic data processing systems requires the prior written approval by the editor. Reproduction also in part is prohibited. This publication represents the technical status of the time of printing.
 © Copyright 2017 by Conrad Electronic SE.

CEM I 42,5 R Portlandský cement EN 197-1

Výrobce: Českomoravský cement, a.s. – Závod Mokrá

Technický list
březen 2020



Charakteristické vlastnosti:

- rychlý nárůst pevností
- vysoká počáteční pevnost
- vysoká konečná pevnost
- rychlý vývin hydratačního tepla
- vyšší celkové hydratační teplo

Použití:

- betony běžných a vyšších pevnostních tříd
- betony s rychlým nárůstem pevnosti
- předpínané betony
- suché omítkové směsi a malty
- betonové zboží

Český cement:

- Symbol v národních barvách odkazuje na český původ zboží a českou identitu.
- Značka reprezentuje nový přístup, pokrok a úspěchy českého cementářského průmyslu.



Kvalita, bezpečnost, ekologie:

Kvalita výrobků, respekt k životnímu prostředí, důraz na bezpečnost zaměstnanců a hospodárné využívání energetických zdrojů patří k našim hlavním prioritám. Plnění požadavků příslušných systémů managementu je potvrzeno vydanými certifikáty:

- Management kvality ČSN EN ISO 9001
- Management bezpečnosti a ochrany zdraví při práci ČSN OHSAS 18001
- Environmentální management ČSN EN ISO 14001
- Management hospodaření s energií ČSN EN ISO 50001



Způsob dodání:

- volně ložený v autocisternách nebo železničních vagonch Raj
- balený v papírových pytlích 25 kg s polyetylenovou vložkou, na vratných paletách o celkové hmotnosti 1,4 t

Obsah složek		
Hlavní složka	Portlandský slínek	95–100 %
Doplňující složka		0–5 %

Druh, množství a kvalita hlavních i doplňujících složek se odvíjí od požadavků technické normy EN 197-1. Mezi složky nepatří siran vápenatý, který se přidává jako regulátor tuhnutí, ani případné přísady usnadňující výrobu nebo upravující vlastnosti cementu.

Českomoravský cement, a.s.
Technická podpora prodeje
technicka.podpora@cmcem.cz
+420 544 122 544

www.cmcem.cz

**ČESKOMORAVSKÝ
CEMENT**
HEIDELBERGCEMENTGROUP

CEM I 42,5 R

Portlandský cement

EN 197-1

Výrobce: Českomoravský cement, a.s. – Závod Mokra

Technický list
březen 2020

Fyzikální a mechanické vlastnosti				Chemické vlastnosti			
Parametr	Průměrná hodnota	Metoda / poznámka		Parametr	Průměrná hodnota	Metoda / poznámka	
Pevnost v tlaku [MPa]	1 den	16,5	EN 196-1	CaO	63,7	EN 196-2	
	2 dny	30,6	EN 196-1	SiO ₂	19,7	EN 196-2	
	7 dní	50,3	EN 196-1	Al ₂ O ₃	4,7	EN 196-2	
	28 dní	59,7	EN 196-1	Fe ₂ O ₃	3,3	EN 196-2	
	56 dní	65,6	EN 196-1	MgO	1,4	EN 196-2	
	90 dní	67,8	EN 196-1	SO ₃	3,09	EN 196-2	
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	1 den	4,2	EN 196-1	Cl ⁻	0,059	EN 196-2	
	2 dny	6,2	EN 196-1	K ₂ O	0,73	EN 196-2	
	7 dní	8,1	EN 196-1	Na ₂ O	0,16	EN 196-2	
	28 dní	9,2	EN 196-1	Na ₂ O ekvivalent [%]	0,64	EN 196-2	
	56 dní	9,6	EN 196-1	Nerozpuštěný zbytek [%]	0,67	EN 196-2	
	90 dní	9,7	EN 196-1	Ztráta žíháním [%]	3,37	EN 196-2	
Normální konzistence [%]	27,2	EN 196-3					
Počátek tuhnutí [min]	188	EN 196-3					
Konec tuhnutí [min]	256	EN 196-3					
Objemová stálost [mm]	1,0	EN 196-3, Le Chatelier					
Měrný povrch [m ² kg ⁻¹]	391	EN 196-8, Blaine					
Měrná hmotnost [kg m ⁻³]	3110	EN 196-8					
Sypná hmotnost [kg m ⁻³] - v autocisterně	980	Přibližná hodnota při uložení cementu do cisterny.					
Sypná hmotnost [kg m ⁻³] - v síle	1200–1600	Odhad při uskladnění v síle. Mění se v závislosti na míře setřesení cementu, době uskladnění nebo velikosti a zaplnění síla.					
Hydratační teplo [J g ⁻¹]	7 dní	310	EN 196-8				

V případě, že cement obsahuje (ve smyslu Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) 1907/2006 přílohy XVII, čl. 47) redukční činidlo, které po smíchání s vodou snižuje obsah Cr⁶⁺ v cementu pod hodnotu 0,0002 %, je toto činidlo účinné nejméně po dobu skladování cementu, po kterou musí být cement chráněn před působením vody a vysoké relativní vlhkosti vzduchu (nejvýše 75 %). Doba skladování cementu je 90 dnů od data uvedeného na obalu (balený cement) nebo od data expedice (volně ložený cement).

Použití cementu dle stupňů vlivu prostředí podle ČSN P 73 2404																	
Bez rizika	Koroze způsobená karbonatáci				Působení chloridů (ne z mořské vody)			Střídavé působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí			Obrus		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3	XM1	XM2	XM3
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

a) Při chemické síranové agresivitě se stupněm vlivu prostředí vyšším než XA1 - koncentrace síranových iontů SO₄²⁻ vyšší než 600 mg/litr v podzemní vodě nebo 3000 mg/kg (v případě kapilárního sání 2000 mg/kg) v rostlé zemině - se musí použít síranovzdorný cement SR. Při obsahu SO₄²⁻ do 1500 mol/litr je možné použít CEM I s dostatečnou dávkou octolanové příměsi (například alespoň 20 % octolitu).

Hodnoty uvedené v technickém listu mají čistě informativní charakter a mohou se lišit od hodnot konkrétních vzorků. Před jejich porovnáním s vlastnostmi jiných výrobků se prosím ujistěte, že všechna porovnávaná data byla získána pomocí tožných zkušebních postupů. V případě pochybností nás neváhejte kontaktovat.

Českomoravský cement, a.s.
Technická podpora prodeje
technicka.podpora@cmcem.cz
+420 544 122 544

www.cmcem.cz

**ČESKOMORAVSKÝ
CEMENT**
HEIDELBERGCEMENT Group

[T4] ZEPIKO GROUP. *PÍSEK Žabčice CE 0-4 neprané_EN 12620_EN 13242: Pískovna Žabčice* [online]. [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <http://www.zepiko.cz/certifikace>

[T5] Mapei. *Produkty>DYNAMON LZ 87 - superplastifikátor* [online]. 2020 [cit. 2020-04-17]. Dostupné z: <https://www.mapei.com/at/de-at/produkte/produktliste/produktdetails/dynamon-lz-87---flie-mittel>