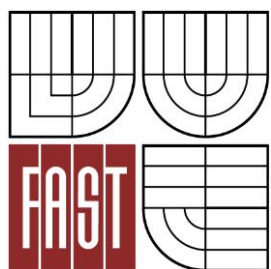




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

LEHKÉ BETONY S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ LIGHTWEIGHT CONCRETE WITH REINFORCEMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ PLOCHÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. RUDOLF HELA, CSc.



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 Ondřej Plochý

Název Lehké betony s rozptýlenou výztuží

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

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2015

Datum odevzdání bakalářské práce 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Odborné zahraniční i tuzemské časopisy, sborníky z odborných symposií a konferencí, internetové zdroje odborných publikací z daného oboru.

Diplomové práce vypracované na ÚTHD FAST Brno v období 2009 – 2014

Zásady pro vypracování

Využívání lehkých betonů pro nosné konstrukce zejména bytových staveb se začíná výrazně uplatňovat i v ČR. Konstrukce bývají vyztužené klasickou ocelovou výztuží. Betony s rozptýlenou výztuží z ocelových vláken se zatím výrazně uplatňují u normálních betonů hlavně v průmyslových podlahách. Kombinace lehkých konstrukčních betonů a rozptýlené výztuže z ocelových vláken se zatím průmyslově nevyužívá. Zde se nabízí možné využití této technologie např. pro koncept typizovaných rodinných nízkoenergetických domů z produkce Lias Vintířov pro konstrukce monolitických základových desek, či příček.

Cílem vaší bakalářské práce bude vypracovat podrobnou rešerši poznatků ze zahraničních i tuzemských odborných zdrojů vztahujících se k navrhování a vlastnostem lehkých betonů s pevnostmi vyššími než 25 MPa a objemovou hmotností v rozmezí 1500 až 1800 kgm⁻³. Totéž provést ke vztahu k využití rozptýlené výztuže z ocelových vláken a jejich interakci v lehkých betonech. Dále vymezit mechanické vlastnosti těchto kompozitů, metodiku zkoušení mechanických vlastností, včetně pracovních a výkonných diagramů.

V experimentální části navrhnete receptury lehkých betonů LC 20/22, D1, 6 a LC 25/28, D, 1,8, konzistence S3, zvolte vhodný typ ocelových vláken délky 50 až 60 mm a ověřte jejich dopad na vlastnosti čerstvých i zatvrdlých betonů při dávkování 20 až 30 kg/m³ betonu.

Rozsah : min 40 stran

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

3.

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

Abstrakt

Tato bakalářská práce shrnuje dosavadní poznatky vztahující se k navrhování a vlastnostem lehkých betonů a betonů s rozptýlenou výztuží. Dále se zabývá výzkumem lehkého betonu s kamenivem Liapor a jeho spolupůsobení s rozptýlenými ocelovými vlákny. Práce zkoumá receptury objemových tříd D1,6 a D1,8 a pevnostních tříd SFRLC 20/22 a SFRLC 25/28. U těchto receptur jsou sledovány fyzikálně-mechanické a reologické vlastnosti.

Klíčová slova

Lehký beton, vlákna, ocelová vlákna, Liapor, vláknobeton, čtyřbodový ohyb, pevnost v tlaku, pracovní diagram, pevnost v tahu za ohybu, pórovitost, objemová hmotnost.

Abstract

This bachelor thesis summarizes the current knowledge regarding to the design and properties of lightweight concrete and concrete with reinforcement. Also deals with research of lightweight aggregate concrete with Liapor and its interaction with dispersed steel fibers. The work examined recipes of volume classes D1,6 and D1,8 and strength classes SFRLC 20/22 and SFRLC 25/28. Recipes are monitored by physical-mechanical and rheological properties.

Keywords

Light-weight concrete, fibers, steel fibers, Liapor, fiber reinforced concrete, four-point bending, compressive strength, working diagram, tensile bending, porosity, bulk density.

Bibliografická citace VŠKP

Ondřej Plochý *Lehké betony s rozptýlenou výztuží*. Brno, 2016. 89 s.,
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27.5.2016

.....
podpis autora

Ondřej Plochý

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu práce, panu prof. Ing. Rudolfu Helovi, CSc., za odborné vedení a cenné rady při zpracování této bakalářské práce. Dále všem ochotným při pomoci ve zkušebních laboratořích, za obsluhu zkušebních lisů a vstřícnost. A v neposlední řadě bych chtěl poděkovat všem blízkým a své rodině za podporu při studiu.

Obsah

1 ÚVOD.....	12
2 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	13
3 SLOŽKY LEHKÉHO BETONU S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ.....	14
3.1 VODA	15
3.1.1 Vodní součinitel.....	15
3.2 CEMENT	16
3.3 PŘÍMĚSI.....	16
3.4 PŘÍSADY.....	17
3.5 PÓROVITÉ KAMENIVO	17
3.5.1 Definice	17
3.5.2 Funkce kameniva	17
3.5.3 Rozdělení pórovitého kameniva	18
3.5.4 Historie výroby expandování v žáru	18
3.5.5 Technologie výroby umělých kameniv	19
3.5.6 Liapor	19
3.5.7 Výroba Liaporu.....	19
3.5.8 Frakce, sytná hmotnost, mezerovitost a setřesitelnost.....	21
3.5.9 Využití Liaporu	21
3.5.10 Materiálové charakteristiky Liaporu.....	21
3.6 ROZPTÝLENÁ VÝZTUŽ.....	25
3.6.1 Definice	25
3.6.2 Historie.....	25
3.6.3 Rozdělení rozptýlené výztuže	25
3.6.4 Azbestová vlákna	26

3.6.5	Polymerní vlákna.....	26
3.6.6	Skelná vlákna.....	26
3.6.7	Přehled fyzikálních a mechanických vlastností vláken	27
3.6.8	Značení vláknobetonu	27
3.6.9	Vlákna s větším modulem pružnosti než matrice	27
3.6.10	Vlákna s menším modulem pružnosti než matrice.....	27
3.6.11	Výhody vláknobetonů.....	28
4	DRÁTKOBETON.....	29
4.1	Kompozitní materiál.....	29
4.2	Drátkobetonový kompozit.....	29
4.3	Pevnostní třídy vláknobetonu	29
4.3.1	Označení typového drátkobetonu	30
4.4	Ocelová vlákna.....	31
4.4.1	Rozdělení ocelových vláken.....	31
4.5	Geometrie ocelových vláken.....	32
4.6	Vlastnosti drátkobetonů	33
4.7	Výroba, doprava a ukládání drátkobetonů.....	37
4.8	Zkoušení drátkobetonů.....	39
5	LEHKÝ BETON.....	40
5.1	Definice.....	40
5.2	Zmenšování hmotnosti betonu	40
5.3	Značení lehkého betonu	41
5.3.1	Dle pevnostní třídy lehkého betonu v tlaku	41
5.3.2	Dle objemové hmotnosti.....	41
5.4	Rozdělení lehkých betonů	42
5.4.1	Lehké mezerovité betony	42

5.4.2	Lehké hutné betony s pórovitým kamenivem	43
5.4.3	Lehké pórovité betony	43
5.4.4	Druhy lehkých betonů z hlediska funkce	44
5.5	Vlastnosti lehkých betonů	44
5.6	Výroba lehkého betonu	46
6	LEHKÝ BETON S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ	49
6.1	Lehký beton s rozptýlenou výztuží	49
6.2	Pevnostní třídy	49
6.3	Vliv vláken na křehkost lehkého betonu	49
6.4	Vlastnosti lehkého betonu s rozptýlenou výztuží	50
6.5	Využití v základových deskách	51
6.5.1	Vyztužení základové desky	53
6.6	Využití ve stěnových panelech	55
7	EXPERIMENTALNÍ ČÁST	56
7.1	Vstupní suroviny	56
7.2	Postup práce	58
7.3	Receptury	59
7.4	Výroba zkušebních těles	59
7.5	Ověřování vlastností čerstvého a ztvrdlého betonu	59
7.6	Zkoušení čerstvého betonu	60
7.6.1	Zkouška sednutí	60
7.6.2	Objemová hmotnost čerstvého betonu	61
7.7	Zkoušení ztvrdlého betonu	61
7.7.1	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu	61
7.7.2	Pevnost v tlaku	62
7.7.3	Pevnost v tahu ohybem (čtyřbodové uspořádání)	62

7.7.4 Výkonový diagram.....	63
7.8 Výsledky zkoušek	64
7.8.1 Konzistence – vliv vláken na stupeň sednutí.....	65
7.8.2 Konzistence – dávka vody pro dosažení stupně sednutí S3	65
7.8.3 Objemová hmotnost čerstvého betonu.....	66
7.8.4 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu.....	66
7.8.5 Pevnost v tlaku.....	67
7.8.6 Pevnost v tahu za ohybu – čtyřbodový ohyb	67
7.8.7 Výkonové diagramy receptury SFRLC 20/22D1,6	68
7.8.8 Výkonové diagramy receptury SFRLC 25/28D1,8	70
7.8.9 Tomograf.....	71
7.9 Souhrnné výsledky	72
7.10 Diskuze k výsledkům	72
8 ZÁVĚR	74
9 ZDROJE.....	76
10 SEZNAM PŘÍLOH, OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ	81
10.1 Seznam příloh	81
10.2 Obsah obrázků	81
10.3 Obsah tabulek	82
10.4 Obsah grafů.....	83
11 PŘÍLOHY	84

1 ÚVOD

Rychlý rozvoj a inovace v oblasti kompozitních materiálů posledních několika desetiletí zdůrazňující pozitiva těchto materiálů. Transfer získaných výsledků z akademické sféry do oblasti průmyslu konečně našel odezvu v praktických aplikacích. Pokrok v technologických postupech při výrobě betonů s rozptýlenou výztuží a nabídka vláken nejrůznějších typů a vlastností na trhu způsobily, že k dosud nejhojnějším aplikacím vláknobetonu v konstrukcích průmyslových podlah, kdy je třeba omezit trhliny v betonu a zvýšit odolnost povrchu betonu proti mechanickému namáhání (obrus), přibývají i další, kde je možné částečně nebo plně nahradit klasickou prutovou výztuž ocelovými vlákny rozptýlenými rovnoměrně v betonu. Nebo jen ke zlepšení fyzikálně-mechanických vlastností betonů. [37]

Lehký beton je možné využít v nenosných ale i nosných konstrukcích všech typů. Díky řadě technických a materiálových předností současné stavitelství nabízí mnoho různých možností jeho použití v konstrukcích. Využití lehkých betonů s klasickou výztuží pro nosné konstrukce, zejména bytových staveb, se výrazně začíná uplatňovat i v České republice.

Kombinace lehkých betonů a rozptýlené výztuže se zatím průmyslově nevyužívá. Zde se nabízí možné širší využití této technologie. Proto vzrůstá zájem o informace o materiálových vlastnostech tohoto nového druhu materiálu a také o přípravu technických předpisů pro zkoušení a navrhování konstrukcí z vláknobetonu. Výsledný cementový kompozit získává aplikací vláken specifické vlastnosti, které lze efektivně využít při výstavbě.

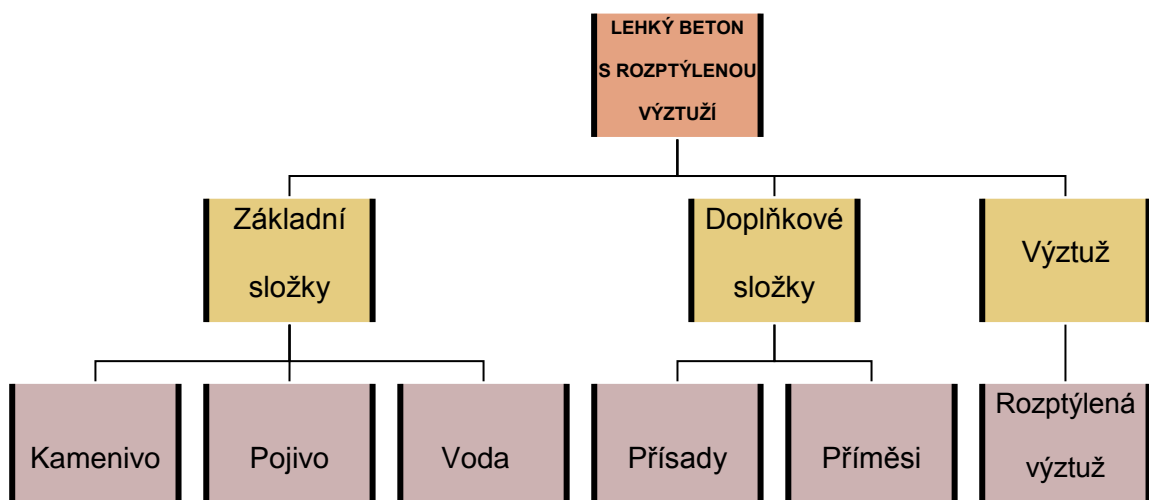
2 CÍL BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

V teoretické části byly popsány složky lehkého betonu s rozptýlenou výztuží. Zejména byl kladen důraz na méně obvyklé složky betonu, tedy na lehké pórovité kamenivo a rozptýlenou výztuž (drátky). Dále byly zpracovány informace z tuzemských i zahraničních zdrojů vztahující se k navrhování a vlastnostem betonů s rozptýlenou výztuží, lehkých betonů, a následně lehkých betonů s rozptýlenou výztuží a jejich interakci ve výstavbě rodinných domů, zejména základové desky a stěn.

V experimentální části byl proveden návrh dvou receptur lehkého betonu s ocelovými vlákny SFRLC 20/22D1,6 a SFRLC 25/28D1,8. Receptury byly porovnány s recepturami referenčními bez vláken. Kde byl sledován vliv vláken na reologické vlastnosti čerstvého betonu a na základní fyzikálně mechanické vlastnosti ztvrdlého betonu. Na závěr byly pořízeny snímky z tomografu, na ověření některých skutečností zkušebních těles.

3 SLOŽKY LEHKÉHO BETONU S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ

Důkladným výběrem jednotlivých složek lehkého betonu s rozptýlenou výztuží dokážeme výrazně ovlivnit jeho následné chování při ukládání betonové směsi, ošetřování, schopnost odolávat vnějším vlivům a životnost v konstrukci. Proto je velmi důležité každou jednotlivou složku vybírat s uvážením a v souladu s jeho následným použitím v konstrukci. Základními složkami lehkého betonu s rozptýlenou výztuží jsou lehké kamenivo, cement a voda. Doplnkové složky tvoří přísady a příměsi. Beton dále obsahuje rozptýlenou výztuž (drátky).



3.1 VODA

Technologicky vodu rozdělujeme na záměsovou (dávkovanou při míšení čerstvého betonu) a na ošetřovací (voda dodávaná po zatuhnutí betonu po několik dnů pro udržení betonu ve vlhkém stavu). U lehkých betonů rozlišujeme ještě vodu smáčecí, která slouží k nasáknutí pórovitého kameniva. Vnitřní vlhkost se při míchání nepodílí na vytváření cementové malty a nemá vliv na vodní součinitel. Ovlivňuje však její dobu zpracovatelnosti, dobu čerpatelnosti a dobu vysychání. Tyto a všechny použité vody do betonu musí vyhovovat kvalitativním požadavkům dle ČSN EN 1008. [19,5]

Dále rozlišujeme podle funkce vody [19]:

- Hydratační - podmiňuje hydratační proces cementu, čímž vytváří spolu s cementem tuhou strukturu cementového kamene. Minimální množství vody na hydrataci cementu je 23-28 % hmotnosti cementu.
- Reologická – umožňuje vytvoření tvárného čerstvého betonu ve spojení s ostatními složkami. Kapilárními silami je zajištěna koheze, viskozitou je zajištěna plastičnost čerstvého betonu.

3.1.1 Vodní součinitel

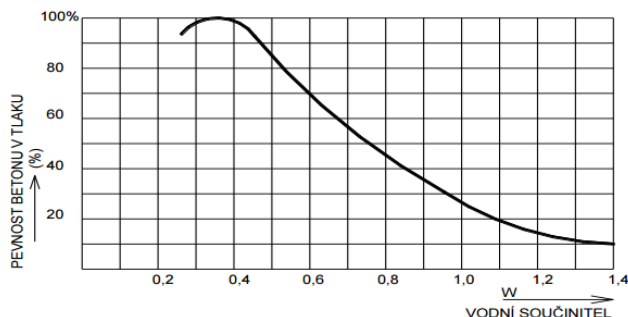
Poměr účinného obsahu vody k hmotnosti cementu v čerstvém betonu.

$$w = \frac{v}{c} \quad [\%]$$

c množství cementu $[kg/m^3]$
 v množství vody $[kg/m^3]$

Zvolením výsledného vodního součinitele výrazně ovlivňujeme konečné vlastnosti betonu. Beton s optimálním vodním součinitelem vykazuje lepší mechanické vlastnosti (pevnost, modul pružnosti, odolnost vůči průsaku tlakové vody) a vyšší trvanlivost. Optimální vodní součinitel se pohybuje v hodnotách od 0,3 do 0,5. Při nižším vodním součiniteli než 0,3 nedojde k dokonalému obalení všech zrn cementu, tím pevnost betonu výrazně klesá a směs nelze řádně zpracovat. Při vyšším vodním součiniteli než 0,3 dochází časem

k odpaření této přebytečné vody a tím ke vzniku drobných pórů v ztvrdlém cementovém tmelu, které vedou ke snížení pevnosti. [39,3]



Obrázek 1 Závislost vodního součinitele na pevnost betonu v tlaku [39]

3.2 CEMENT

Cement je hydraulické pojivo. Patří do skupiny hydraulických maltovin. Jedná se o jemně mletý anorganický materiál, který po smíchání s vodou vytváří kaši, která v důsledku chemické hydraulické reakce postupně tuhne a tvrdne na vzduchu i pod vodou. [17]

Vyrábí se výpalem ze základních surovin vápence a zemin (břidlice, spraš, jíla, hlíny) korigujících surovin (CaO , SiO_2 , Al_2O_3) a doplňkových složek (mineralizátory, intenzifikátory). [19]

Chemické složení cementu je pak trikalciumpilikát C_3S (alit), dikalciumpilikát C_2S (belit), tetrakalciumaluminátferit C_4AF (celit) a trikalciumaluminát C_3A . [19]

3.3 PŘÍMĚSI

Příměsi jsou většinou práškovité látky, které se přidávají do betonu za účelem vylepšení nebo získání některých vlastností. U čerstvého betonu se jedná zejména o konzistenci, pohyblivost a zpracovatelnost. U ztvrdlého betonu o pevnost, hutnost, trvanlivost nebo odolnost proti chemicky agresivnímu prostředí. Příměsi zvětšují měrný povrch, proto se také zvyšuje výsledný vodní součinitel, který se musí zvětšit o konkrétní K-hodnotu, dle jednotlivé příměsi. Negativně ovlivňují celkovou cenu výsledného betonu. [17,3]

Dle ČSN EN 206-1 se příměsi dělí na dva typy.

- Příměs typ I – inertní látky (pigmenty, kamenná moučka)
- Příměs typ II – pucolány nebo latentně hydraulické látky (vysokopecní struska, mikromletý vápenec, mikrosilika, elektrárenské popílký)

3.4 PŘÍSADY

Přísady jsou chemické sloučeniny, které se přidávají během míchání betonu v množství do 5 % hmotnosti cementu. Jejich hlavní funkcí je úprava vlastností čerstvého nebo ztvrdlého betonu. [17,3]

Základní druhy přísad jsou:

- plastifikační (redukuje vodu), superplastifikační (velmi redukuje vodu)
- stabilizační (zadržují vodu), provzdušňující
- urychlující tuhnutí cementu, urychlující tvrdnutí cementu
- zpomalující tuhnutí, hydrofobizační (odpuzující vodu)

3.5 PÓROVITÉ KAMENIVO

3.5.1 Definice

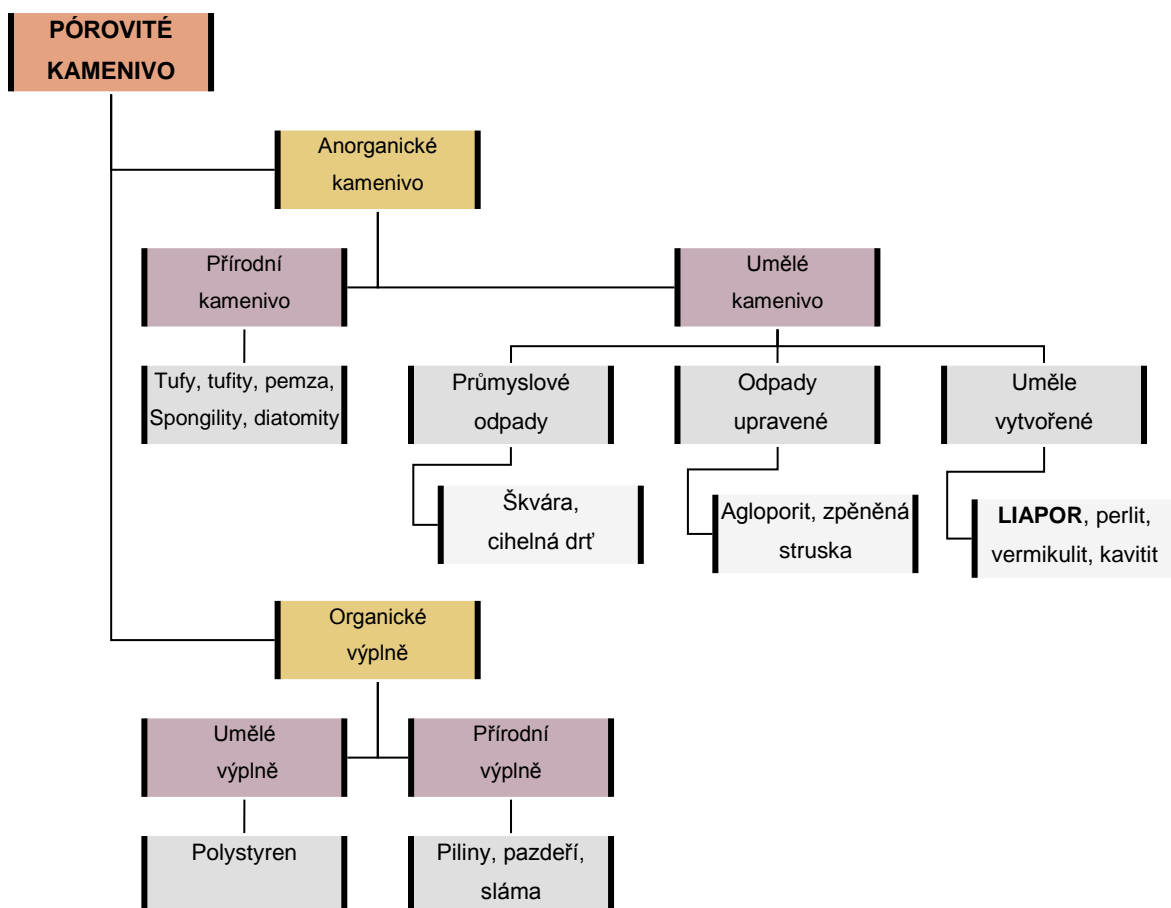
Podle objemové hmotnosti rozděluje ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda kamenivo na těžké, hutné a pórovité. Ve vysušeném stavu objemová hmotnost zrn tohoto plniva podle výše uvedeného technického předpisu je menší nebo rovna 2 000 kg/m³. Dále pórovité kamenivo popisuje norma ČSN EN 13055 Pórovité kamenivo. [33, 31]

3.5.2 Funkce kameniva

Kamenivo zaujímá 65-85 % objemu betonu a jeho hlavní funkcí je vytvoření pevné kostry v betonu s minimální mezerovitostí, proto obsahuje různě velká zrna ve vhodném poměru. Kamenivo je přírodní nebo umělá zrnitá látka určená pro stavební účely. Pro výrobu betonu se používají maximální zrna do velikosti

32 mm. U lehkých betonů z Liaporu je maximální zrno kameniva 16 mm (častěji 8 mm). V současné době platí ČSN EN 12620 Kamenivo do betonu. [29,3]

3.5.3 Rozdělení pórovitého kameniva



3.5.4 Historie výroby expandování v žáru

Výroba umělých pórovitých kameniv začala kolem 20. let 20. století v USA stavebním podnikatelem, který se jmenoval Stephen Johan Hayd. Kamenivo se jmenovalo stejnojmenně po svém vynálezci, Haydit. Toto uměle vyráběné lehké kamenivo se vyrábělo expandováním břidlice v rotační peci. Roku 1918 tento postup výroby patentoval. Rozšíření se rozmohlo do stavebního průmyslu až po 2. světové válce. U nás průmyslová výroba započala až roku 1956, kdy byl otevřen závod na výrobu Keramzitu v Bratislavě. [15]

3.5.5 Technologie výroby umělých kameniv

Využití lehkého betonu nejen v nosných konstrukcích klade na lehká kameniva čím dál větší požadavky, které přírodní lehká kameniva nebo upravené vedlejší energetické produkty (VEP) nejsou schopny plnit. Úpravy těchto surovin jsou příliš drahé, proto se dnes spíše volí uměle vyrobené pórovité kamenivo. Toto kamenivo se vyrábí z v přírodě se nacházejících surovin a vyrábí se takovými postupy, které poskytují nejlepší předpoklady k výrobě kvalitního kameniva, které bude splňovat většinu kladených požadavků. Výroba umělého kameniva vede k udržení přírodních zdrojů z pohledu vyčerpání zásob přírodního kameniva. [15]

- Expandování v žáru (využití nadýmání)
- Žárové rozlískování
- Výroba dutých tvarů (kuliček)
- Vyhořívání (organické příměsi)

3.5.6 Liapor

V řadě zemí jsou umělá pórovitá kameniva na bázi jílovitých hornin vyráběna pod různými obchodními názvy. Dobré vlastnosti pro výrobu Liaporu vykazují jíly z usazenin z Jurských moří z druhohorního období Lias staré 150 milionů let. Odtud je také odvozen název skupiny výrobců a výrobků v České republice, LIAS a.s. Tento velmi lehký granulát je v České republice známý pod obchodní názvem Liapor, který vznikl spojením názvu společnosti a slova pór. LIAS a.s. Vitířov sídlí u Karlových Varů. Liapor je rozšířeně používané pórovité uměle vyráběné keramické kamenivo s téměř kulovitými zrny, které bylo v minulosti na náš trh dodáváno pod názvem Keramzit.. [2,5]

3.5.7 Výroba Liaporu

Průmyslový proces výroby lehkých kameniv z expandovaných jílů a břidlic je různý podle vlastností vstupního materiálu. Záleží na obsahu vody a historii těchto přírodních materiálu. Používá se buď plastický postup, to je protlačování suroviny rotačním šnekem skrz tvarovací síto, který je obvyklejší pro plastické

jíly, nebo suchý postup drcením či mletím a potom granulováním, který je obvyklejší pro tvrdší břidlice. [2]

Firma Lias Vintířov používá plastický postup výroby. Liapor je ve Vintířově vyráběn z třetihorních cypřišových jílu, které tvoří nadloží hnědouhelných slojí Sokolovské pánve. Při výrobě nejsou používány žádné umělé plynotvorné přísady, podmínkou expanze je pouze vhodné složení jílu a jeho dobré zpracování. [2]

Vzniká expandováním jílovitých zemin a vypalováním při teplotě 1100-1200 °C v rotační peci. Rotační pece jsou obvykle vytápěny protisměrným způsobem o výkonu 10 m³/h. Celková doba průchodu je 45-60 minut, přičemž vlastní expanze trvá asi 10 minut. [15]

Jíl pro výrobu Liaporu obsahuje jako hlavní minerály illit, kaolinit, křemík a dále úlomky slíd a fosilní zbytky. Jeho složení musí být takové, aby vyvolalo potřebné reakce v potřebnou chvíli. Složení vstupních surovin se může dále upravovat. Fosilní zbytky a určité příměsi minerálů způsobí při chemické reakci vznik plynů a tím expanzi. Expanze jílu musí probíhat v tzv. pyroplastickém stavu, to je takový stav, kdy uvnitř zrna vzniknou plyny, a zároveň se na povrchu zrna vytvoří takové množství taveniny (slinutý povrch), aby zabránila úniku vzniklých plynů. Plyny ve struktuře zrna vytvoří přibližně stejnoměrnou pórovou strukturu, výrazně se lišící od té na povrchu, kde je pevná slinutá vrstva. Barva keramzitu bývá obvykle červenohnědá nebo hnědá, u některých druhů může být i hnědošedá (dle složení jílu). Vlastnosti Liaporu jsou vlastnosti čistě keramického materiálu.

Poté prochází expandovaný granulát chladičem, kde se chladí téměř 20 minut pod teplotou 100 °C. Vychlazený Liapor je poté dopravován ke třídící lince a tříděn na jednotlivé frakce. Vytříděný Liapor je skladován v uzavřených silech, nebo na otevřených skládkách. Díky skladování v uzavřených silech může být dodáván v dokonale suchém stavu. Na trhu lze koupit buď volně sypaný Liapor nebo nadávkovaný v pytlích. [15]

3.5.8 Frakce, sypaná hmotnost, mezerovitost a setřesitelnost

Mezerovitost volně sypaného Liaporu je 40 až 50 %. Mezerovitost drceného Liaporu je 55 až 65 %. Setřesitelnost Liaporu je 2 až 13 %. Setřesitelnost drceného Liaporu je 8 % až 20 %. Sypaná hmotnost Liaporu je od 250 do 900 kg/m³. Větší zrna mají nižší objemovou hmotnost a drobná vyšší. V závodu LIAS a.s. ve Vintířově se vyrábí široká frakce a následné přesné třídění na úzké frakce. K dostání je ve frakcích 0-1 mm, 0-2 mm, 0-4 mm, 4-8 mm omezeně i 8-16 mm. [2]

Liapor je se svou sypanou hmotností frakce 8-16 mm pod 300 kg/m³ jedním z nejlehčích materiálů svého druhu. Liapor je prakticky nejlehčím kamenivem do betonů, které má přitom dostatečnou pevnost, příznivý tvar a dobrou zpracovatelnost [2]

3.5.9 Využití Liaporu

Liapor jako materiál se využívá v mnoha průmyslových odvětvích. Díky jeho vlastnostem, jako je například nasákavost, se uplatňuje při pěstování a výsadbě rostlin (zásypy plochých zelených střech), ale i pro zahradnické a dekorativní účely. Díky jeho objemové hmotnosti a tepelně izolačním vlastnostem se používá na zásypy stropů kleneb, podlah a tepelné izolace střech, také jako přídavek do zdících materiálů pro zlepšení termo-akustických vlastností zdiva. Nebo se s Liaporem můžeme setkat ve vodohospodářství, kde slouží jako náplně filtrů odpadních vod či drenážní vrstvy pro odvod dešťových vod.

Jeho použití je široké, ale nejvíce se ho spotřebuje právě ve stavebnictví. Hodí se především jako plnivo pro lehké konstrukční betony, mezerovité lehké betony, hutné lehké betony či právě pro lehké betony s rozptýlenou výztuží, které jsou tématem této bakalářské práce. [15]

3.5.10 Materiálové charakteristiky Liaporu

Materiálové charakteristiky Liaporu udávají vlastnosti čerstvému i ztvrdlému betonu.

3.5.10.1 Objemová hmotnost

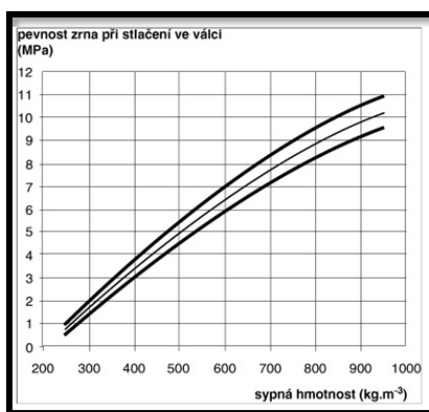
Objemová hmotnost je nejdůležitější vlastnost lehkého pórovitého kameniva. Ovlivňuje řadu vlastností jako je pevnost nebo součinitel tepelné vodivosti. Díky poréznímu jádru zrna Liaporu zaujímají objemovou hmotnost od 500 do 1500 kg/m³. [2]

3.5.10.2 Vlhkost

Velkou výhodou Liaporu je, že může být dodáván v dokonale suchém stavu. Liapor je ve výrobě skladován v uzavřených silech i na otevřených skládkách. Ve skladování Liaporu se odvíjí jeho počáteční vlhkost. Materiál skladovaný v uzavřených silech má vlhkost do 1 % hmotnosti, kdežto materiál skladovaný na otevřených skládkách může mít vlhkost až 25 %, v závislosti na povětrnostních vlivech. Od vlhkosti se odráží jeho následné použití. Pro některé aplikace, je možno použít pouze suchý materiál. [2]

3.5.10.3 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku zrn pórovitého kameniva se stanovuje pomocí tlakové zkoušky ve válci dle ČSN EN 13055-1. Kulovitý tvar zrn a objemová hmotnost výrazně ovlivňuje pevnost v tlaku. Pevnost v tlaku se díky svému pevnému slinutému povrchu a poréznímu jádru pohybuje v rozmezí 0,7 až 10 MPa. [2]



Obrázek 2 Průběh pevnosti v tlaku v závislosti na sypné hmotnosti [2]

3.5.10.4 Nasákavost

Liapor není hygroskopický a nepřijímá vlhkost ze vzduchu. Přirozená ustálená vlhkost je 0,2 % objemu. Pokud je Liapor umístěn do konstrukce ve vysušeném

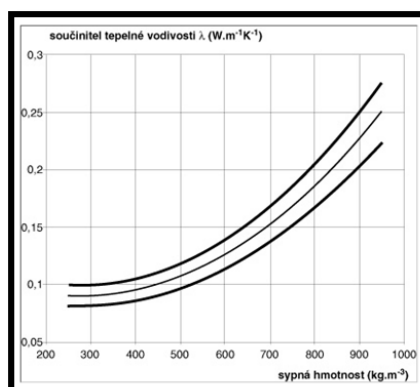
stavu a je chráněn proti přímému přístupu vody voděodolnou vrstvou, zůstává poté dokonale suchý. Samotné zrno Liaporu nemá kapilární strukturu a voda v nich nevzlíná. Pokud je zrno Liaporu zcela ponořeno pod vodu, postupně nasává vodu, ale na vzduchu poměrně rychle vysychá. [2]

Tabulka 1: Hodnoty nasákavosti v závislosti na čase [2]

Nasákavost	Hmotnostní nasákavost	Objemová nasákavost
po 30 minutách	2-7 %	1-4 %
Po 24 hodinách	7-19 %	6-8 %
Po 48 hodinách	20-25 %	11-13 %
Po 120 hodinách	22-30 %	13-16 %
Po 180 dnech	30-45 %	18-24 %

3.5.10.5 Tepelná vodivost

Díky své porézní struktuře jádra má Liapor výborné tepelně izolační vlastnosti při dobrých akumulacích vlastnostech. Součinitel tepelné vodivosti λ závisí na objemové hmotnosti, tloušťce konstrukce, vlhkosti a na typu Liaporu. Součinitel nabývá hodnot od $0,09 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$ do $0,20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\text{K}^{-1}$. [2]



Obrázek 3 Průběh součinitele tepelné vodivosti v závislosti na sypané hmotnosti [2]

3.5.10.6 Chemické složení

Celkový obsah síry je 0,2-0,5 % hmotnosti, obsah siřičků je 0,02-0,05 % hmotnosti a obsah chloridů 0,005-0,01 % hmotnosti. Proto Liapor vyhovuje pro použití pro vyztužený i předpjatý beton. Díky tepelnému zpracování a následnému třídění má téměř nulový obsah organických i cizorodých částic. Ztráta žíháním ($1000 \text{ }^\circ\text{C}$) Liaporu má při zkouškách taktéž nulovou hodnotu. [2]

Tabulka 2: Chemické složení Liaporu [2]

Chemické složení	Liapor % hm
Oxid křemičitý	52 %
Oxid hlinitý	23 %
Oxid železitý	10 %
Oxid vápenatý	5 %
Oxid draselný	2 %
Oxid hořečnatý	2 %
Oxid titančitý	2 %
Oxid fosforečný	2 %
Ostatní složky	2 %

3.5.10.7 Mrazuvzdornost

Porézní nekapilární struktura Liaporu umožňuje rozpínání zamrzlé vody uvnitř zrna. Proto Liapor odolává opakovanému zmrazování. Hmotnostní úbytek při 25 zmrazovacích cyklech je do 2 %. [2]

3.5.10.8 Objemová stálost

Po setřesení je vrstva Liaporu objemově stabilní a nevykazuje další sedání ani dotvarování. [2]

3.5.10.9 Žáruvzdornost

Liapor je žáruvzdorný. V suchém stavu je objemově stabilní do teploty 1050 °C. Jako materiál na čistě keramické bázi je Liapor dle ČSN 73 0823 zaříděn jako materiál se stupněm hořlavosti A – materiál nehořlavý. [2]

3.5.10.10 Trvanlivost

Liapor je nejen mechanicky odolný, ale také chemicky stabilní. Zrno odolává kyselinám i louhům. Ve vodě je stabilní a neutrální, nerozpouští se a neuvolňuje škodlivé výluhy ani plyny. [2]

3.5.10.11 Zdravotní nezávadnost a vliv na životní prostředí

Liapor neuvolňuje žádné plynné emise a škodlivé výluhy. Z hlediska obsahu přírodních radionuklidů je Liapor systematicky zkoušen. Po skončení životnosti mohou být výrobky z Liaporu recyklovány a znovu použity. [2]

3.6 ROZPTÝLENÁ VÝZTUŽ

3.6.1 Definice

Je to systém náhodně prostorově rozmístěných vláken v betonu. Úlohou rozptýlené výztuže je zlepšit fyzikálně-mechanické vlastnosti betonu v zatvrdlém stavu. Ovlivňuje však chování betonu i v čerstvém stavu. Každý typ vláken má svoje specifické použití.

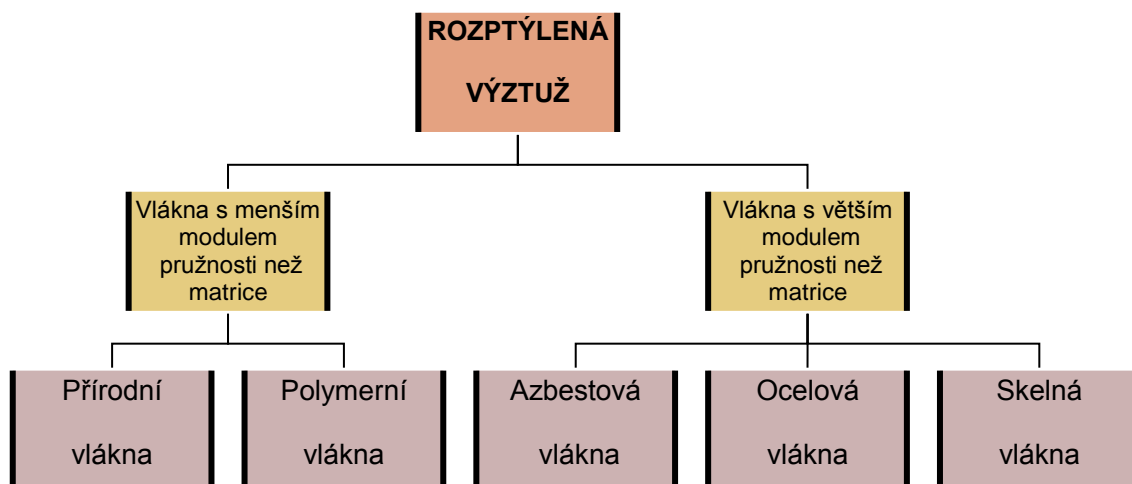
3.6.2 Historie

Vlákná byla užívána již ve starověku. Byly to například koňské žíně, sláma, rákosí, peří nebo dřevo. Tyto materiály sloužily ke ztužení hliněných cihel. Dnes se začala přírodní vlákna používat ve stavebnictví především u nízkonákladových staveb rodinných domů.

Roku 1980 se prvně použila ocelová vlákna, kde byla snaha o nahrazení klasické výztuže. Od té doby se výzkum nových vláken nezastavil. Od ocelových vláken k vláknům azbestovým (karcinogenní účinky), po ocelová a syntetická vlákna až po vlákna speciální, např. uhlíková, nylonová, hliníková a whiskery (velmi jemný typ vláken krystalické povahy do velikosti 1 μm). [41]

3.6.3 Rozdělení rozptýlené výztuže

V této práci jsou zmíněna pouze nejběžnější vlákna, která se používají ve výrobě betonu, z hlediska historie jsou zmíněna vlákna azbestová.



3.6.4 Azbestová vlákna

První vlákna, kterými se cementové kompozity průmyslově vyztužovaly, byla vlákna azbestová. Oblíbenými se stala v 70. letech 20. století, především díky výborné schopnosti rovnoměrně rozptýlit velké množství vláken, vysokým modulem pružnosti, vysokou pevností a odolností vůči vysokým teplotám. [16]

Po zjištění zdravotní závadnosti se od jejich používání postupně upouštělo. V České republice byl azbest úplně zakázán v roce 1997. [16]

3.6.5 Polymerní vlákna

Tato vlákna řadíme do skupiny syntetických vláken. Polymerní vlákna se přidávají do betonu zejména za účelem zamezení vzniku trhlin při smršťování betonu jak v raném stádiu tuhnutí a tvrdnutí, tak ve ztvrdlém betonu a současně zvyšují pevnost v rázu. Dále zvyšují požární odolnost. Polymerní vlákna se vyrábějí z různých druhů polymerů. Dávkování polymerních vláken se pohybuje okolo 1 kg/m^3 a dávkuje se do suché betonové směsi. Délky těchto vláken jsou do 15 mm a průměr do 10 μm . Kde je v 1 kg až 8 milionů kusů vláken. [18,22]

3.6.6 Skelná vlákna

Hlavním problémem skelných vláken je jejich nízká odolnost proti alkáliím (pH betonu 12,6). Tento problém vyřešil vývoj skelných vláken odolných proti alkáliím tzv. AR-skleněná vlákna. Jsou chráněna úpravou chemického složení i povrchovou úpravou (nanášení tenkého povlaku na povrch vláken). Skelná vlákna jsou k dostání ve formě jednotlivých vláken nebo rohoží. [16]

Skelná vlákna byla vyvinuta k vyztužování velmi tenkých deskových konstrukcí, kde je nutné omezit hmotnost konstrukce (obkladové dílce, balkónové zábradlí). Jeho dobrá tvarovatelnost je často využívána v architektuře. Skelných vláken se s oblibou také využívá k vyztužení potěrů, malt či stěrek. Beton vyztužený skelnými vlákny je označován jako sklolaminát či sklovláknobeton. Po aplikaci v konstrukci dobře odolává namáhání v tahu, v tahu za ohybu a v rázu. [22]

3.6.7 Přehled fyzikálních a mechanických vlastností vláken

Tabulka 3: Přehled vlastností jednotlivých vláken

Materiál vlákna	Průměr [mm]	Měrná hmotnost [kg/m ³]	Modul pružnosti [GPa]	Pevnost v tahu [Mpa]	Přetvoření [%]
Ocelová	0,15-1,0	7840	210	500-2600	0,5-3,5
Polymerní	0,015-1,0	900	3-5	550-700	6,0-15,0
Skelná	0,009-0,015	2500-2800	70	2500-3500	3,6-4,8
Přírodní (celulóza)	0,02-4,5	500-600	10	125-500	–
Azbestová	0,0001	2600	200	700	–

3.6.8 Značení vláknobetonu

Značení vláknobetonů vychází z materiálu použitých vláken:

- obecně vláknobeton – FRC
- vláknobeton vyztužený syntetickými vlákny – SYFRC
- vláknobeton vyztužený skleněnými vlákny – GFRC
- vláknobeton vyztužený ocelovými vlákny (drátkobeton) – SFRC
- lehký vláknobeton vyztužený ocelovými vlákny – SFRLC

3.6.9 Vlákna s větším modulem pružnosti než matrice

Do této skupiny vláken lze zařadit vlákna ocelová, skelná, dnes již zakázaná vlákna azbestová nebo vlákna speciální, jako jsou například vlákna uhlíková. Vlákny s větším modulem pružnosti než betonová matrice můžeme zvětšit právě modul pružnosti betonu a jeho odolnost vůči tahovému namáhání. [22]

3.6.10 Vlákna s menším modulem pružnosti než matrice

To jsou vlákna polymerní a přírodní. Tato vlákna se aktivují především v počáteční době hydratace cementu, kdy beton dosahuje minimálních hodnot modulu pružnosti, kde zabraňují především objemovým změnám, zejména

smrštění způsobené změnami vlhkosti, dále omezují křehkost betonu a zvyšují jeho houževnatost. [18,22]

Tyto vlastnosti se využívají u výroby vodonepropustných betonů (např. konstrukcí bílých van). Dalším možným použitím je vnášení polymerních vláken za účelem zvýšení odolnosti betonu proti vysokým teplotám. V případě požáru vlákno při teplotě 165 °C teče a vzniklé kapiláry po vyhořelých vláknech pomohou odchodu vody z konstrukce a vytvoří místo pro expanzi vodní páry, která by jinak zapříčinila takzvané explozivní odprýskávání krycí vrstvy výztuže a následné rychlé zborcení konstrukce. Toto se nejčastěji využívá při požární ochraně ostění tunelů. Při technologii stříkaného betonu snižují vlákna celkový spád betonu, a tím výrazně snižují ztráty čerstvého betonu. Vlákna částečně zabraňují segregaci a krvácení betonu. [18,37,22,41]

Jemná vlákna díky svému velkému měrnému povrchu pojmu určité množství záměsové vody, proto zhoršují konzistenci čerstvého betonu a je nutno s touto vlastností počítat již při návrhu receptury (pokles cca o 30 až 60 mm při zkoušce sednutí kužele). Tuto vodu lze využít pro samoošetřování betonu, kdy je voda postupně předávána do okolí vláken v betonu. Přídavek velkého množství vláken může mít negativní vliv na pevnosti, předávkování vede ke snížení pevnosti ztvrdlého betonu. Dávkování jemných vláken se pohybuje od 0,7 do 1,1 kg na 1 m³ betonu. [41,23]

3.6.11 Výhody vláknobetonů

Vláknobetony jsou speciální typy betonů, u kterých izotropně zlepšujeme některé vlastnosti. Každý typ vláken má svoje specifické použití. Přidání správných druhů vláken, dostatečné rozmíchání a dávka může pozitivně ovlivnit slabé stránky prostého betonu. Účinnost vláknobetonu je založena na rovnoměrném přenosu zatížení ve všech směrech, proto musí být vlákna rovnoměrně rozptýlena v celém objemu. Jednotlivé druhy vláken lze i mezi sebou v receptuře libovolně kombinovat dle požadovaných výsledných vlastností betonu. Ve výrobě vláknobetonů se nejvíce užívají vlákna ocelová, polymerová či skelná. [37]

4 DRÁTKOBETON

4.1 Kompozitní materiál

Kompozit je každý materiálový systém, který je složen z více fází, z nichž alespoň jedna je pevná s makroskopicky rozeznatelným rozhraním mezi fázemi. Jde tedy o takzvaný synergický efekt, protože výsledný materiál dosahuje vlastností, které nemohou být dosaženy kteroukoliv složkou samostatně ani prostou sumací. [19,37]

4.2 Drátkobetonový kompozit

Drátkobeton SFRC (steel fibre reinforced concrete) patří k moderním kompozitním materiálům. Tedy kompozitního materiálu kombinující 2 různé složky s odlišnými vlastnostmi. Kompozit tvoří rozptýlená ocelová výztuž dispergovaná v betonové matici. Drátkobeton lze považovat za vysokohodnotný beton. [38]

4.3 Pevnostní třídy vláknobetonu

Tabulka 4: Pevnostní třídy vláknobetonu v tlaku [35]

Pevnostní třída	$f_{fc,ck}$ [MPa]	$f_{fc,ck,cube}$ [MPa]
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 55/67	55	66
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Tabulka 5: Pevnostní třídy vláknobetonu v dostředném tahu [35]

Pevnostní třída	Charakteristická pevnost v tahu za ohybu [MPa]	Charakteristická pevnost v příčném tahu [MPa]
0,9	1,3	1,1
1,5	2,2	1,8
2,0	2,9	2,4
2,5	3,6	2,9
3,0	4,4	3,5
3,5	5,1	4,1
4,0	5,8	4,7

Tabulka 6: Reziduální pevnostní třídy [35]

Reziduální pevnostní třídy vláknobetonu v dostředném tahu při průhybu 0,5 mm a při mezním průhybu 3,5 mm [MPa]
0,4
0,6
0,8
1,2
1,6
2,0
2,4
2,8

4.3.1 Označení typového drátkobetonu

Typový vláknobeton se označuje zkratkami základních charakteristik:

C $f_{c,k,cyl} / f_{c,k,cube}$; **FRC** $f_{c,tk,cr} / f_{c,tk,0.5} / f_{c,tk,res,1}$; **X..,Cl..,D_{max}, konzistence**

Kde:

- **C** $f_{c,k,cyl} / f_{c,k,cube}$ [MPa] charakteristická pevnost vláknobetonu v tlaku válcích/krychlích (Tab. 6)
- $f_{c,tk,cr}$ [MPa] je pevnost vláknobetonu v dostředném tahu na mezi vzniku makrotrhliny (Tab. 4)
- $f_{c,tk,0.5}$ [MPa] je reziduální pevnost vláknobetonu v dostředném tahu při průhybu 0,5 mm (Tab. 5)
- $f_{c,tk,res,1}$ je reziduální pevnost vláknobetonu v dostředném tahu po vzniku makrotrhliny při průhybu 3,5 mm (Tab. 5)
- **X** stupeň vlivu prostředí

- **Cl** maximální obsah chloridů
- **D_{max}** maximální jmenovitá frakce kameniva

4.4 Ocelová vlákna

Ocelová vlákna tvoří největší podíl ve výrobě vláknobetonů. Beton vyztužený ocelovými vlákny je nazýván jako drátkobeton. Ocelová vlákna byla použita i v praktické části této práce, a proto je ocelovým vláknům věnována zvláštní pozornost. Ocelová vlákna jsou běžně dodávána v kartonech pro snazší dávkování po 20 kg, na paletě pak 1200 kg. Dávkování ocelových vláken se běžně pohybuje v rozmezí 20-35 kg/m³. Vyrábí se v délkách 12 až 76 mm. Vlákna jsou různých pevností, běžně v rozmezí 400 až 1300 MPa, ocel vysokopevnostních drátků má pevnost až 2600 MPa. V 1 kg je obsaženo až 3000 ks drátků. V České republice jsou největší výrobci Krampeharex a Dramix. [22]



Obrázek 4 Ocelové vlákno firmy Krampeharex [44]

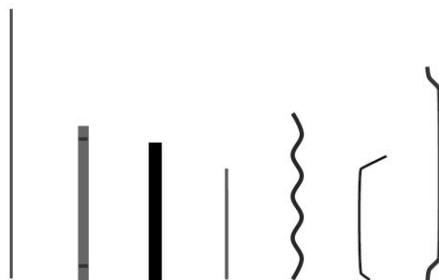
4.4.1 Rozdělení ocelových vláken

Ocelová vlákna lze zatřídit do pěti následujících skupin dle základního materiálu použitého pro jejich výrobu. [20]

- Skupina I: za studena tažený drát
- Skupina II: vlákna stříhaná z plechu
- Skupina III: vlákna oddělovaná z taveniny
- Skupina IV: vlákna protahovaná z drátu taženého za studena
- Skupina V: vlákna frézovaná z ocelového bloku

4.5 Geometrie ocelových vláken

Ocelová vlákna se vyrábějí v různých délkách a tvarech. Tvarování, průřez i délka vlákna mají značný vliv na zpracovatelnost, soudržnost, konzistenci i na výsledné pevnosti betonu. Všeobecně je známo, že čím delší vlákno je, tím vyšší je jeho teoretická účinnost. Ale delší vlákna než 100 mm se jen velmi těžko rozmíchávají v čerstvé směsi. Vlákna s větším průřezem mají obvykle vyšší tahovou únosnost, ale podstatně zhoršují zpracovatelnost čerstvé směsi. Tenká vlákna jsou lépe zamíchatelná, ale velmi tenká mikrovlákná opět silně snižují zpracovatelnost čerstvého vláknobetonu díky velkému měrnému povrchu. Proto se ocelová vlákna nejčastěji používají v délkách od 12 do 76 mm, tloušťky přibližně 0,25 až 1 mm. [6,20]



Obrázek 5 Tvarování ocelových drátků [17]

Povrchová úprava a tvarování drátků má zajistit potřebnou soudržnost a spolupůsobení s kamenivem a cementovým tmelem. Vlákna mohou být vlnitá, se zahnutými konci nebo s nakovanými konci. Zřídka se do betonu používají vlákna přímá, tato vlákna nezajistí v betonu potřebnou soudržnost. Tato vlákna se používají v reaktivních práškových kompozitech, kde je maximální zrno 1 mm a obsah cementu je až 1200 kg/m³. [41]



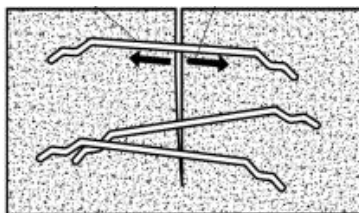
Obrázek 6 Srovnání pracovních diagramů dle tvaru vláken [6]

Délka ocelového vlákna by měla být delší než tři zrna nejhrubší frakce. Tím dosáhneme to, že se vlákno dostatečně ukotví. Toto mechanické kotvení je zajištěno u hrubších frakcí kameniva (u zrn nad 8 mm). Délku drátku je tedy nutno navrhovat s ohledem na hrubou frakci kameniva. [41]

Štíhlostní poměr vláken (L/d) má také výrazný vliv na konzistenci čerstvého betonu. Se zvyšujícím se poměrem se snižuje zpracovatelnost čerstvého betonu. Musíme proto dbát na správné ukládání a vodní součinitel betonu při daném poměru. Konzistenci ovlivňuje i tvarování drátku. Ukázalo se, že čas $VeBe$ se u vlnitého vlákna prodlužuje až o 15% s porovnáním s přímým vláknem. [13]

4.6 Vlastnosti drátkobetonů

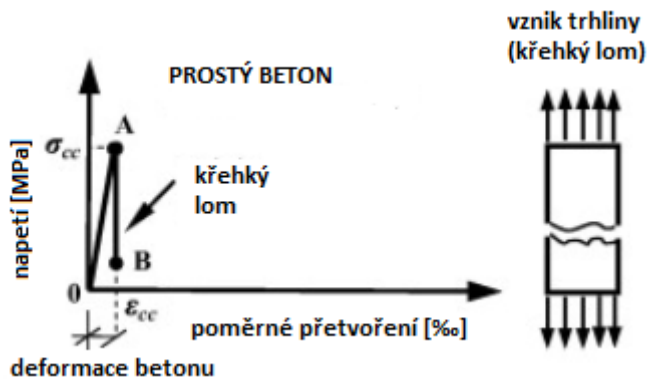
Drátkobeton je vhodný na veškeré nenosné i nosné konstrukce staveb namáhané jak vnitřními silami, tak vnějším zvýšeným namáháním. Přidáním ocelových vláken do betonové směsi nad minimální množství znamená určité zlepšení některých vlastností ve srovnání s prostým betonem. Vliv vláken se projevuje v čerstvém betonu i v ztvrdlém betonu, kdy je již zaručená soudržnost mezi vlákny a cementovým tmelem a tím jejich maximální účinnost. Drátky se nejčastěji používají k zvýšení reziduálních pevností, pevností v tahu za ohybu (zhruba o 30 % oproti prostému betonu), příčného tahu a prostého tahu. Ke zlepšení tahových pevností v prostém tahu jsou nejlépe využita pouze vlákna ve vodorovné poloze, v tahu za ohybu vlákna kolmo k zatěžování. [20,37,1,38]



Obrázek 7 Působení drátků v trhlině

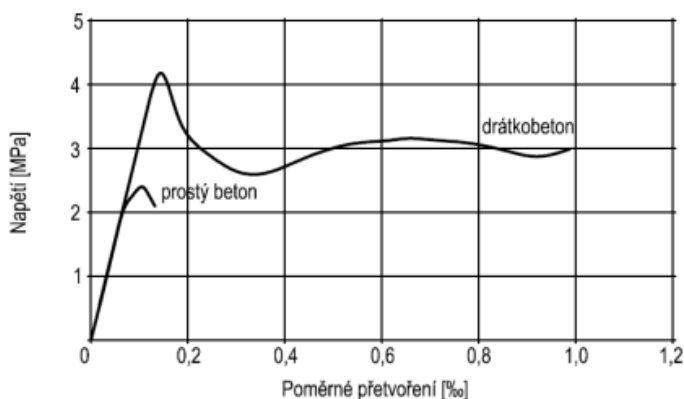
Prostý beton má velmi malou pevnost v tahu za ohybu. Již při malém protažení se poruší v jednom okamžiku takzvaným křehkým lomem. Při tahovém namáhání podléhá rychlé destrukci. Za základní nedostatek prostého betonu lze tedy považovat křehký charakter porušení při tahovém namáhání. [1,11]

Pracovní diagram prostého betonu, respektive betonu vyztuženého vlákny s menším modulem pružnosti (např. celulóza) oproti cementové matrici, lze vidět na obrázku č 8. Zvýšení reziduálních pevností se nekoná.



Obrázek 8 Porušení prostého betonu – křehký lom [11]

Křehký lom můžeme eliminovat právě použitím rozptýlené výztuže ve formě ocelových drátků o větším modulu pružnosti než cementová matrice. Tento kladný vliv vláken lze dobře pozorovat na pracovním diagramu prostého betonu a drátkobetonu. U drátkobetonu dochází k nárůstu tahové pevnosti způsobené oddálením rozvoje mikrotrhlin v jeho struktuře. A po vytvoření makrotrhliny nenastane destrukce, ale trhlina se překlene a ocelové drátky se aktivují, čímž se zvýší reziduální pevnost betonu. Od této chvíle přenáší tahová napětí pouze vlákna. Křivka pracovního diagramu se stává téměř vodorovnou a přetváření betonu má charakter tečení. [1]



Obrázek 9 Pracovní diagram drátkobetonu v tahu [1]

Maximální tahové napětí, které je kompozit schopen přenést, je dáno pevností v tahu vláken a maximální soudržností vlákna s cementovou matricí. Soudržnost na tomto rozhraní je dána třecí silou potřebnou k vytažení vlákna z kompozitu.

Toto chování lze ovlivnit také množstvím, tvarem a povrchovou úpravou drátku. [11,1]

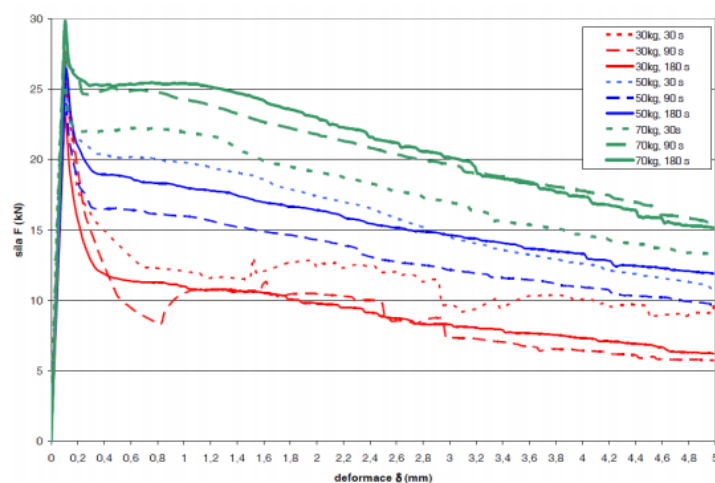
U betonů nižších pevnostních tříd při překročení pevnosti betonu se vlákna při zvětšování trhliny vytrhnou z důvodu menší soudržnosti vlákna s betonem, respektive dojde k jejich narovnání a vytažení z betonu. [11,38]

U betonů vyšších pevnostních tříd dojde k plnému vyžití vlákna, to znamená, že dojde k jeho přetržení (ne k vytržení). Zvýšení reziduálních pevností je proto znatelnější právě u betonů vyšších tříd a u vláken s větším modulem pružnosti, kde je zaručena soudržnost vlákna s betonem a dostatečná pevnost vlákna. [7,11,38]



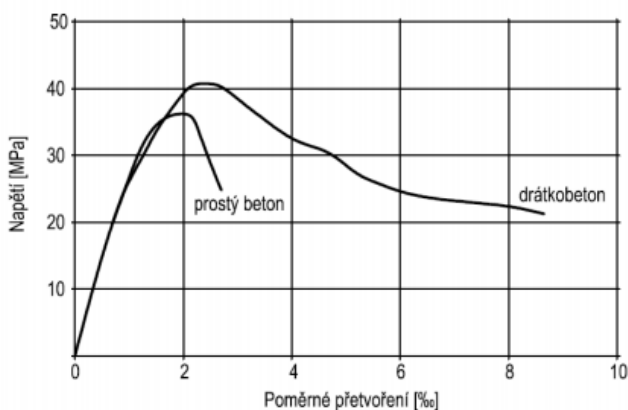
Obrázek 10 Beton vyšších tříd – přetržení vlákný [11]

Vlákna jsou tedy nejvíce využita při lomovém porušení betonu. S rostoucí dávkou vláken se do jisté míry zvyšují tahové pevnosti i reziduální pevnosti. Samozřejmě na úkor zpracovatelnosti. [4]



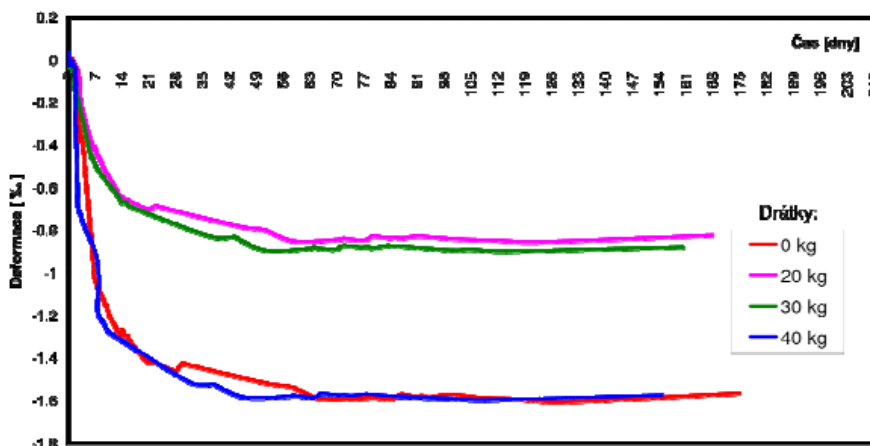
Obrázek 11 Pracovní diagram v závislosti na množství vláken a době míchání [4]

Ocelová vlákna také mírně zvyšují tlakové pevnosti, ale při zachování stejné konzistence musíme přidat více vody (cca 15 l), proto se výsledné tlakové pevnosti zmenší (až o 8 %) oproti betonu o stejné konzistenci bez vláken. Pracovní diagram v tlaku bez zachování konzistence, pouze s přidavkem ocelových vláken, lze vidět na obrázku č. 12. [1,37,41]



Obrázek 12 Pracovní diagram drátkobetonu v tlaku [1]

Samozřejmě též vlákna zvyšují odolnost proti objemovým změnám, omezují vznik mikrotrhlin způsobený autogenním smršťováním a trhlin od smršťování při vysychání a zvyšují odolnost proti krvácení betonu. Zamezením vzniku trhlin zvyšujeme mrazuvzdornost, vodotěsnost a tím životnost celé konstrukce. Avšak nadměrné dávkování drátků do betonu může mít i negativní vliv na smrštění. Na obrázku č. 13 lze pozorovat, že hodnota smrštění s dávkou 40 kg drátků se rovnala hodnotě s nulovou dávkou drátků. [14,37,40]



Obrázek 13 Vyrovnaní hodnoty smrštění dávky 0 kg a 40 kg drátků na 1 m³ betonu [14]

Také zvyšují odolnost vůči rázům a vibracím. Energie se díky vláknům rozptýlí do konstrukce. Pozitivní účinky přítomnosti vláken v betonu jsou prokázány i v případech seismického namáhání. [1]

Přidáním určitého množství rozptýlené výztuže, lze část nebo zcela nahradit klasickou výztuž či výztuž smykovou, čímž se výrazně zkrátí čas potřebný k výrobě konstrukce spojený s jinak časově náročným svařováním, rozmisťováním a vázáním betonářské výztuže. Toto se využívá pro redukci klasické výztuže v konstrukcích s vysokým stupněm vyztužení nebo s komplikovaným tvarem. Další výhodou je vyztužení celého průřezu konstrukce i nejvíce namáhaných částí, jako je povrch, rohy a hrany. [22]

Nejvíce se v České republice ocelová vlákna využívají v konstrukcích průmyslových podlah či v konstrukcích vozovek, kde vlákna zvyšují odolnost proti obrusu. Další časté využití je v prefabrikované výrobě či v technologii stříkaného betonu. [37]

Tahové napětí od přímého zatížení je v konstrukci zpravidla doprovázeno vedlejšími tahovými účinky od nepřímého zatížení (teplota, smršťování apod.). Skutečná hodnota tahového napětí je nejistá a konstrukce se může neočekávaně porušit. To je důvod, proč nelze dle českých, ale i ve většině zahraničních norem používat prvky z prostého betonu, jako prvky namáhané na tah. Výjimku tvoří konstrukce, u nichž porušení ohybem nevede automaticky ke zřícení konstrukce (betonové průmyslové podlahy). [1]

4.7 Výroba, doprava a ukládání drátkobetonů

Drátkobetonové konstrukce se realizují pomocí třech odlišných technologií. První z nich je klasické ukládání drátkobetonové čerstvé směsi do bednění a její následné zpracování (monolitická či prefabrikovaná výstavba). V tomto případě je třeba věnovat pozornost konzistenci používané směsi, aby byla dosažena požadovaná homogenita výsledné konstrukce. Druhou technologií je tvorba konstrukcí nástřikem drátkobetonu, používá se suchý i mokrý způsob nástřiku (ostění tunelů). Poslední technologií je SIFCON (spruty infiltrated fiber

concrete), kde ocelová vlákna téměř nahrazují hrubé kamenivo v objemech až 700 kg/m^3 , které jsou následně vyplněny cementovou kaší, vykazují zcela mimořádné hodnoty tahových a reziduálních pevností. [10,20]

Ocelové drátky jsou dodávány samostatně oddělené nebo jsou spojeny pomocí vodou rozpustným lepidlem do větších celků. Způsob, doba míchání a konzistence má zásadní vliv na homogenitu drátkobetonu. Dávkování ocelových vláken se pohybuje v rozmezí $20\text{-}35 \text{ kg/m}^3$. S rostoucí dávkou ocelových drátků mírně narůstají tahové pevnosti. [4]

Ocelové drátky jsou do míchacího zařízení přidávány jako poslední surovina. Dostatečná ohybová tuhost drátků musí zajistit, aby si drátky zachovaly při míchání, ukládání a hutnění směsi svůj původní tvar. [10]

Při špatně zvoleném postupu dávkování se mohou v čerstvém betonu vytvořit shluky drátků, ve stavební praxi nazývány ježci. Je proto vhodné doplnit výrobu drátkobetonu o rozružovací zařízení, které jednotlivé drátky od sebe oddělí a rovnoměrně vkládá do míchačky či autodomíhače. [20]



Obrázek 14 Shluk vláken (ježek) v čerstvém betonu [20]

Rovnoměrné rozmístění ocelových vláken, co do množství a co do směru orientace vláken, ovlivňuje mechanické vlastnosti drátkobetonu. [4]

Vodní součinitel drátkobetonu se pohybuje maximálně kolem 0,4. Touto hodnotou je zajištěno, aby se drátky během výroby, dopravy a zpracovávání směsi neshlukovaly ani neoddělovaly. Pro zlepšení obtížné zpracovatelnosti

drátkobetonové směsi se doporučuje používat plastifikační nebo superplastifikační přísady. [10]

U drátkobetonů musíme zamezit takzvanému našlehání při míchání betonu, které roste s délkou míchání a dávkou drátků. Našlehání vede k zvýšení obsahu vzduchu v čerstvém betonu, který následně snižuje pevnost ztvrdlého betonu, ale zároveň zvyšuje jeho mrazuvzdornost. [8,4]

Aby nedocházelo k nadměrnému provzdušnění (našlehání) vlivem přídavku drátků tak platí, že s rostoucí koncentrací vláken musí klesat otáčky míchačky. Přesto se stejně nevyhneme nutné intenzivnější vibraci při ukládání betonové směsi do bednění. Zároveň musíme při hutnění dávat pozor na segregaci a sednutí drátků na dno bednění. [4]

Drátkobeton z hlediska tvrdnutí a ošetřování vyžaduje v podstatě stejné podmínky jako prostý beton.

4.8 Zkoušení drátkobetonů

Zkoušení vláknobetonu obecně předepisují české předběžné normy, které byly zpracovány jako doplnění evropských norem pro zkoušení čerstvého a ztvrdlého betonu. Normy některé zkoušky ponechávají beze změny a naopak některé doplňují oproti zkouškám na prostém betonu.

- ČSN P 73 2450 Vláknobeton – specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- ČSN P 73 2451 Vláknobeton – zkoušení čerstvého vláknobetonu
- ČSN P 73 2452 Vláknobeton – zkoušení ztvrdlého vláknobetonu

Nejvýznamější změny:

- pevnostní třídy a označování vláknobetonu
- zákaz používání zkoušky sednutí, VeBe - ovlivňuje orientaci vláken
- výkonové diagramy
- objemová hmotnost čerstvého betonu na válci o průměru 150 mm a výšce 300 mm

5 LEHKÝ BETON

5.1 Definice

Lehký beton LC (light-weight concrete) dle normy ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda [31] je kompozitní materiál, jehož objemová hmotnost ve vysušeném stavu v sušárně dosahuje objemových hmotností větší než 800 kg/m^3 a menší než $2\,000 \text{ kg/m}^3$. Lehký beton je vyráběn z lehkého kameniva zcela nebo jen z části. Pórovité kamenivo musí být požadovaných vlastností. Tyto vlastnosti přesně specifikují technické normy ČSN EN 1097 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva [32] a ČSN EN 13055-1 Pórovité kamenivo – Část1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektáží malty [33].

5.2 Zmenšování hmotnosti betonu

Zmenšení hmotnosti betonu dosáhneme [15]:

- Přímou – přímé vylehčení betonu se dosáhne vnášením vzduchu do cementového tmele (pěnotvorné přísady)
- Nepřímou – vylehčení betonu lehkým pórovitým kamenivem přírodním či uměle vyrobeným. Nebo vnášením do cementového tmelu organických surovin (piliny, korek apod.)
- Kombinace – kombinace zmíněných metod. Například použití pěnotvorné přísady a lehkého kameniva.



Obrázek 15 Kombinace vylehčení – Liapor a pěnotvorná přísada [5]

5.3 Značení lehkého betonu

5.3.1 Dle pevnostní třídy lehkého betonu v tlaku

První číslo označuje charakteristickou pevnost v tlaku zjištěné na válci ($f_{ck,cyl}$) výšky 300 mm a průměru 150 mm ve stáří 28 dnů, druhé číslo charakteristickou pevnost v tlaku zjištěné na krychli ($f_{ck,cube}$) o hraně 150 mm ve stáří 28 dnů. Charakteristická pevnost je definována hodnotou pevnosti, pod kterou lze očekávat nejvýše 5 % ze všech možných výsledků zkoušek pevnosti. Uvedené hodnoty jsou v MPa. [31]

Tabulka 7: Pevnostní třídy lehkého betonu [31]

Pevnostní třída	$f_{ck,cyl}$ [MPa]	$f_{ck,cube}$ [MPa]
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

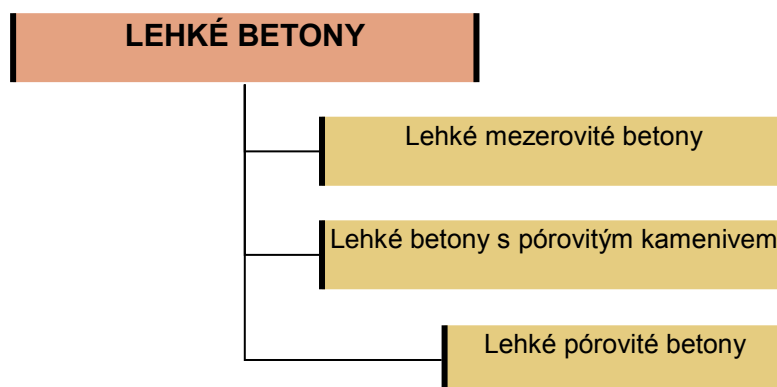
5.3.2 Dle objemové hmotnosti

Objemová hmotnost, včetně všech pórů a dutin musí být u lehkých betonů maximálně 2000 kg/m³ dle normy ČSN EN 206-1. Značení pak vypadá následovně:

Tabulka 8: Třídy lehkého betonu dle objemové hmotnosti [31]

Třída	D1,0	D1,2	D1,4	D1,6	D1,8	D2,0
Objemová hmotnost [kg/m ³]	800-1000	1000-1200	1200-1400	1400-1600	1600-1800	1800-2000

5.4 Rozdělení lehkých betonů



5.4.1 Lehké mezerovité betony

Mezerovitý beton se vyrábí z kameniva s omezením jemných frakcí, tedy použitím hrubší frakce pórovitého kameniva a menšího podílu cementového tmele. Struktura obsahuje velké množství mezer. Jako plnivo se používá lehké kamenivo. Obalená zrna jsou spojena v místech dotyku.

Dosažená pevnost je závislá na druhu pórovitého kameniva, množství cementu a dalším zpracování. Pevnost se pohybuje okolo 1-10 MPa a objemová hmotnost okolo 500-1500 kg/m³. Smrštění je malé, odolnost vůči mrazu je velmi dobrá. Možnost využít jako lehké drenážní betony. [15]

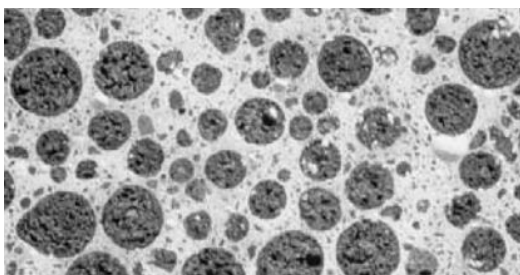
Některé normy zakazují použití nosné výztuže v mezerovitých lehkých betonech, některé připouštějí použití nosné výztuže za předpokladu její ochrany proti korozi. [5]



Obrázek 16 Lehký mezerovitý beton [5]

5.4.2 Lehké hutné betony s pórovitým kamenivem

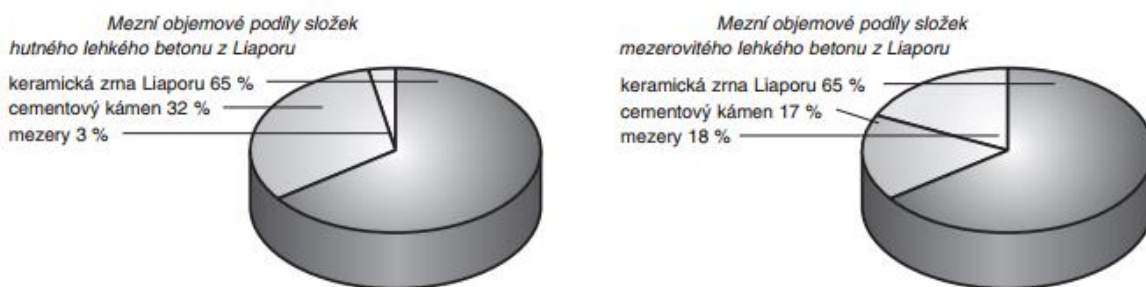
U těchto betonů se malá objemová hmotnost dosahuje použitím pórovitého kameniva. Vzduchové póry jsou tedy přítomny jen uvnitř zrna kameniva, která jsou obklopena hutným cementovým tmelem.



Obrázek 17 Lehký beton s hutnou strukturou a pórovitým kamenivem [5]

5.4.2.1 Mezní objemové podíly

Mezní objemový podíl zrn Liaporu v lehkých betonech je okolo 65 %. Liší se dávka cementového tmele, dle druhu lehkého betonu. V normách pro navrhování a provádění konstrukcí z lehkých betonů jsou rozdílné zásady pro konstrukce z hutného a mezerovitého lehkého betonu, hlavně z hlediska použití pro vyztužené konstrukce. [5]



Obrázek 18 Mezní podíly hutného a mezerovitého lehkého betonu [5]

5.4.3 Lehké pórovité betony

Lehké betony přímo vylehčené póry v jemnozrnné maltě bez přítomnosti hrubé frakce kameniva, často označovány jako pórobetony. Nejčastěji jsou

vylehčovány pěnotvornou přísadou nebo plynem po přidání plynotvorné látky. Nejvíce se z tohoto materiálu vyrábějí zdící prvky. Technologie výroby se v detailech liší (Calsilox, Hebel, Ytong). [15]



Obrázek 19 Pěnobeton (vlevo) plynobeton (vpravo)

5.4.4 Druhy lehkých betonů z hlediska funkce

Dle ČSN 73 2402, která zahrnuje hutné i mezerovité lehké betony, se členění tyto betony podle rozhodující funkce, pro kterou jsou betony navrhovány [15]:

- Konstrukční lehké betony, jejichž hlavní funkcí je nosnost a hlavním požadavkem je pevnost při využití nízké objemové hmotnosti.
- Konstrukčně izolační lehké betony, u kterých se současně využívá nosné i tepelně izolační funkce.
- Tepelně izolační lehké betony, u kterých se využívá převážně tepelně izolační vlastnosti.

5.5 Vlastnosti lehkých betonů

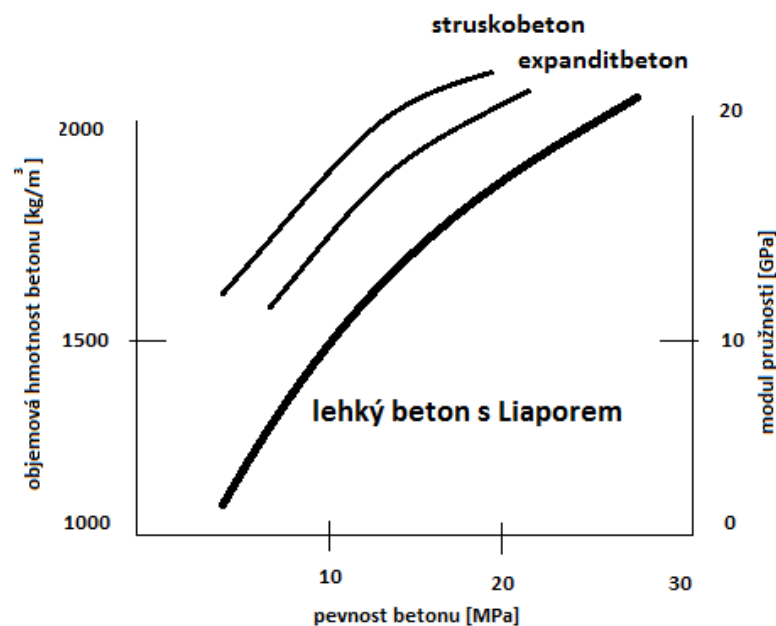
V porovnání s betonem s klasickým kamenivem mají lehké betony spoustu výhod, zejména výrazně nižší objemovou hmotnost, která se příznivě projevuje na zatížení konstrukce. U prefabrikovaných výrobků se snižují náklady za dopravu a montáž.

Významnou předností je nízká tepelná vodivost a zvuková neprůzvučnost. Mrazuvzdornost je díky pórové struktuře kameniva vyšší. Oproti betonu s klasickým kamenivem vykazuje větší křehkost. Vykazuje nižší modul pružnosti

a teplotní roztažnost je v porovnání s prostým betonem o 20 až 30 % nižší. To příznivě ovlivňuje napjatost v konstrukci a snižuje riziko vzniku trhlin. Na druhou stranu o něco vyšší deformační vlastnosti v důsledku nižší tuhosti lehkého kameniva způsobují vyšší smršťování a dotvarování v porovnání s klasickým kamenivem. Snížená teplotní roztažnost i tepelná vodivost mají za následek zvýšenou ohnivzdornost konstrukce.

U masivních konstrukcí je třeba řešit jako technologický důsledek jejich tepelně technických vlastností koncentraci hydratačního tepla. To se do jisté míry kompenzuje nižším modulem pružnosti a menší tepelnou roztažností. Horší odvod hydratačního tepla se může výhodně využít v prefabrikované výrobě, tím že se sníží teplota na prohřívání výrobků, a tím se sníží náklady spojené s výrobou. [20]

V závislosti na objemové hmotnosti lehké betony vykazují vysoké pevnosti a dobrý modul pružnosti. [3]

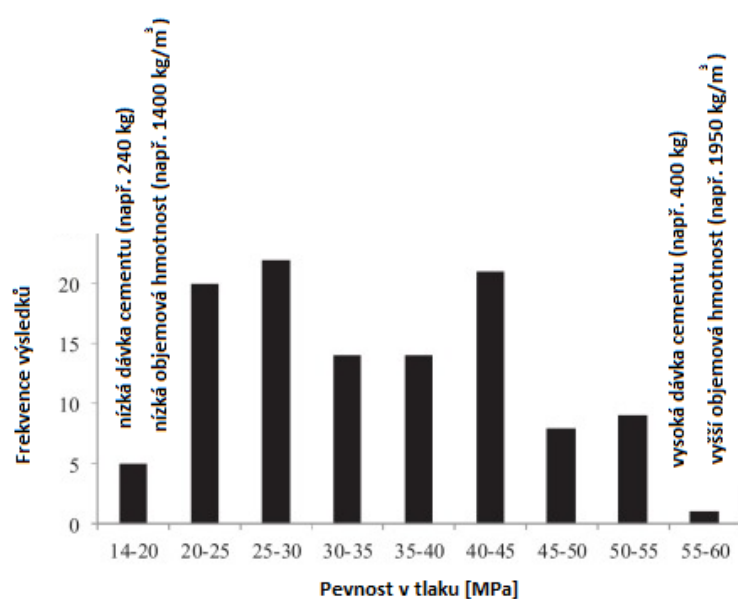


Obrázek 20 Závislost objemové hmotnosti na pevnostní třídě a modulu pružnosti [3]

Pevnost v tlaku lehkého betonu je závislá především na pevnosti cementového kamene, protože je pevnost v tlaku lehkého kameniva zpravidla menší než pevnost pojivové malty. Dále závisí na objemové hmotnosti lehkého betonu, s rostoucí objemovou hmotností rostou i pevnosti v tlaku. [36]

Při použití pouze kameniva Liapor se těžko budeme dostávat přes pevnosti v tlaku převyšujících 25 MPa. Těchto hodnot dosáhneme pouze v kombinaci s přírodním hutným kamenivem. Při použití příměsí zahušťující strukturu betonu a superplastifikačních přísad dokážeme dosáhnout pevností betonu i přes 50 MPa. [36]

Na obrázku č. 22 je vidět četnost dosažených výsledků pevností v tlaku v závislosti na složení a objemové hmotnosti betonu. Výsledky byly naměřeny při výzkumu lehkého betonu a lehkého samozhutnitelného betonu.



Obrázek 21 Frekvence dosažených výsledků pevností v tlaku [36]

5.6 Výroba lehkého betonu

Základním předpokladem pro výrobu lehkého betonu je kvalitního lehkého kamenivo, u nás je to kamenivo Liapor. Výroba lehkého betonu se liší od výroby betonu prostého, zejména kvůli pórovitosti Liaporu a jeho schopností přijímat vodu. Při výrobě lehkého betonu z Liaporu se musí zohlednit tyto odlišnosti [5]:

- větší vliv vlhkosti na sypanou hmotnost a objemovou hmotnost
- možnost větší vnitřní vlhkosti kameniva
- vyšší nasákavost za atmosférického tlaku
- vyšší nasákavost pod tlakem (čerpadlo)

- vyšší drtitelnost zrn při míchání betonu
- vyšší závislost pevnosti betonu na pevnosti kameniva
- různá objemová hmotnost zrn různých frakcí
- objemová hmotnost zrn menší než objemová hmotnost vody

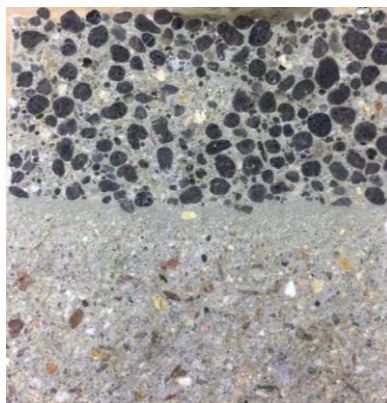
Vnitřní vlhkost se může pohybovat ve značném rozpětí, což výrazně ovlivňuje sypanou i objemovou hmotnost. Proto je vhodnější dávkovat lehké kamenivo objemově. Pokud je Liapor dávkován hmotnostně, musí být kontrolována a zohledňována jeho skutečná objemová hmotnost ve vysušeném stavu a vlhkost. Je třeba počítat s přídatnou vodou v závislosti na frakci a sypané hmotnosti a předpokládané době zpracování. V této souvislosti se doporučuje aplikovat lehké kamenivo s určitou vlhkostí, což lze řešit jeho předvlhčením, a omezit tak úbytku záměsové vody. Tuto vodu nazýváme jako vodu předmáčecí. [5]

Vnitřní vlhkost se při míchání nepodílí na vytváření cementové malty a nemá žádný vliv na vodní součinitel. Ovlivňuje však dobu zpracovatelnosti, dobu čerpatelnosti a dobu vysychání betonu. Vlhkost uvnitř zrna kameniva příznivě působí na průběh hydratace cementového tmelu, zajišťuje vnitřní ošetřování zrajícího betonu, takzvané samoošetřování. [5]

Například spadne-li na hutné kamenivo na otevřené skládce 50 mm srážek, způsobí to v horní vrstvě zvýšení hmotnostní vlhkosti o 7 %, zatímco u Liaporu 4-8/350 se sypanou hmotností 350 kg/m³ bude toto zvýšení až 30 % z hmotnosti Liaporu. [5]

Vyšší nasákavost pod tlakem se musí zohlednit především u čerpaného betonu, kde tlak čerpadla cca 3 MPa vtlačí vodu dovnitř zrna a může tak zvýšit objemovou hmotnost až o jednu objemovou třídu. Spolu s objemovou hmotností se změní i konzistence. Zkouška rozlití před čerpadlem s hodnoty 700 mm se může za čerpadlem zmenšit až na 400 mm. Je tedy nutno s tímto tlakem při čerpání počítat již při návrhu konzistence a objemové třídy betonu. Možnost čerpání lehkého betonu se uvádí od objemové hmotnosti 1400 kg/m³. [20,41]

V porovnání s betonem s klasickým kamenivem mají lehké betony specifické požadavky na zpracování. Může dojít díky nízké objemové hmotnosti kameniva, k jeho vyplavání směrem k hornímu povrchu bednění.



Obrázek 22 Přehutněný nebo chybně navržený lehký beton

Vliv výrobních tolerancí Liaporu, i když jsou menší než normami povolené, způsobuje určitou nerovnoměrnost sypané hmotnosti a objemové hmotnosti zrna, zejména u frakce 8-16 mm. Z tohoto důvodu je tato frakce méně častá při výrobě lehkého betonu. [41]

Vyšší pořizovací cena, by měla být kompenzována využitím předností lehkého betonu.

6 LEHKÝ BETON S ROZPTÝLENOU VÝZTUŽÍ

6.1 Lehký beton s rozptýlenou výztuží

Lehký beton s rozptýlenou výztuží SFRLC (steel fibre reinforced light-weight concrete) je nový vysokohodnotný stavební materiál, který spojuje známé výhody lehkého betonu LC (light-weight concrete) a drátkobetonu SFRC (steel fibre reinforced concrete). Spojením lehkého kameniva a ocelových drátů dosáhneme betonu výjimečných vlastností.

6.2 Pevnostní třídy

Použitím umělého lehkého kameniva Liapor do SFRLC bez přidání přírodního hutného kameniva dosáhneme pevností do třídy SFRLC 20/22D1,0 až D1,4. Při použití lehkého kameniva Liapor v kombinaci s přírodním kamenivem dosáhneme pevností do třídy SFRLC 25/28D1,6 až D1,8. Při použití kombinace lehkého a přírodního kameniva s dodáním aktivních ultrajemných příměsí lze dosáhnout pevností třídy SFRLC 45/50D1,8 až D2,0. Tyto poznatky byly sledovány na samozhutnitelném lehkém betonu s polypropylenovými vlákny. [12] Tento závěr lze aplikovat i na lehké betony s rozptýlenou výztuží.

6.3 Vliv vláken na křehkost lehkého betonu

Křehký lom se vyznačuje menší spotřebou energie a velkou rychlostí šíření trhliny. Je známo, že lehké betony vykazují křehké lomové chování a nízké hodnoty statického modulu pružnosti oproti betonu prostému s klasickým kamenivem, neboť největší vliv na tyto vlastnosti má modul pružnosti kameniva. Z tohoto důvodu lehké betony nevykazují příliš vysoké hodnoty modulů pružnosti. [10]

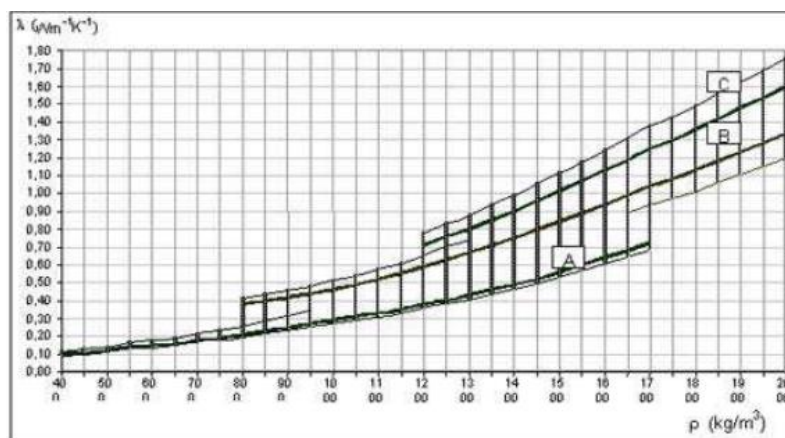
U lehkých transportbetonů se hodnoty pohybují zhruba 12-17 GPa. U lehkých samozhutnitelných betonů bylo dosaženo hodnot 14-22 GPa. Za účelem

eliminace křehkého lomového chování, tedy pro zvýšení duktility betonů, se může úspěšně využít vláknové ocelové rozptýlené výztuže. [12]

6.4 Vlastnosti lehkého betonu s rozptýlenou výztuží

Lehký beton s rozptýlenými ocelovými vlákny má díky svému plnivu, které tvoří Liapor, a díky ocelovým vláknům, specifické vlastnosti. Díky poréznímu jádru Liaporu má výborné zvukově izolační vlastnosti a vynikající tepelně izolační vlastnosti. Tyto pozitivní vlastnosti je možné využít ve výstavbě pasivních či nízkoenergetických domů. Kde pomáhají snižovat náklady na vytápění, zlepšovat tepelný komfort a snižují rizika tepelných mostů.

Z grafu je patrné, že lehký hutný konstrukční beton o objemové hmotnosti 1600 kg/m³ až 1800 kg/m³, kde součinitel tepelné vodivosti dosahuje 0,9 W/mK až 1,2 W/mK, je bezkonkurenční stavební materiál svého druhu. (A-mezerovitý lehký beton, B-hutný lehký beton s přidavkem přírodního kameniva do 25 %, C-hutný lehký beton s přidavkem přírodního kameniva nad 25 %). [45]



Obrázek 23 Součinitel tepelné vodivosti v závislosti na objemové hmotnosti [45]

Tento stavební materiál vykazuje dostatečnou pevnost v tahu, smyku i tlaku v závislosti na nižší objemové hmotnosti. Objemovou hmotnost můžeme korigovat přírodním drobným kamenivem frakce 0-4 mm. Ocelové drátky zamezí vzniku trhlin během hydratace, ale i při užívání stavby, a tím výrazně prodlužují životnost konstrukce.

Lehký beton podléhá kvůli nižší tuhosti kameniva smršťování a dotvarování, které můžeme eliminovat právě rozptýlenými ocelovými drátky.

Pórovitost Liaporu zaručuje zvýšenou odolnost proti působení mrazu. Jeho vyšší ohnivzdornost zabezpečí čas potřebný k evakuaci osob při požáru. Díky zvýšené duktilitě betonu a odolnosti proti nárazům i vibracím, je vhodné tento materiál použít v zástavbě v seismických oblastech.

Díky vlhkosti obsažené v zrně Liaporu částečně odpadá nutné ošetřování betonu (kropení), tzv. samoošetřování. Sorpční a difúzní schopnosti a vynikající akumulativní vlastnost Liaporu zaručuje stejně příjemné klima jako v cihlových domech. A v neposlední řadě má tento materiál vliv na zachování přírodních zdrojů kameniva. [42]

Všechny tyto výhody činí z lehkého betonu s rozptýlenými ocelovými vlákny atraktivní stavební materiál a můžeme očekávat průmyslové využití tohoto materiálu, nejen ve výstavbě rodinných domů.

6.5 Využití v základových deskách

Pokud je únosnost základové zeminy nedostatečná, volí se založení domu celoplošně na základové desce. Tento způsob je o něco nákladnější, než založení na základových pasech, umožní však rovnoměrné sedání objektu a eliminuje trhliny ve zdivu, vznikající nerovnoměrným sedáním objektu. Také je to ekonomicky výhodnější způsob, jak zakládat pasivní domy. Základové pasy narušují celistvost izolační obálky. Založení na základových pasech může u rodinných nízkoenergetických a pasivních domů způsobit zhoršení spotřeby tepla na vytápění o 10-15 %. [47]

Základová deska přenáší zatížení z vrchní stavby do základové zeminy. Proto patří mezi nejdůležitější části stavby a právem jsou tak na ně kladeny vyšší požadavky. Právě u základů se tak vyplatí důkladně vybírat materiály a dobře zvažovat jejich vlastnosti.

Oproti základové desce s klasickým kamenivem a prutovou výztuží disponuje deska z lehkého betonu a rozptýlenou výztuží odlišnými vlastnostmi i technologií výstavby. Při zachování pevnosti konstrukce a snížení objemové hmotnosti se celá stavba a základová spára odlehčí, což se projeví v úspoře dimenze stavby. Úspory při návrhu dimenzí znamenají nižší spotřebu betonu, ocelové výztuže a také snížení nákladů na montáž a dopravu.

Při zvolení rozptýlené výztuže ve formě ocelových drátků odpadá pracná příprava a kontrola klasické prutové výztuže před betonáží, a tak se snižuje riziko chybného vyztužení a odstranění rizika posunutí výztuže při betonáži nebo vibraci betonu. Rychlost výstavby se zvýší.

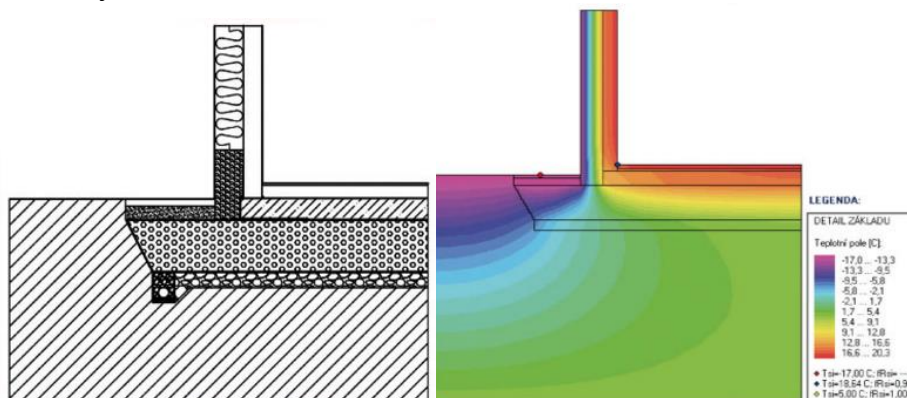
Součástí obálky nízkoenergetických a pasivních domů je i spodní stavba. Ekonomické hledisko je ve stavebnictví v dnešní době velice důležitým aspektem. Proto by volba projektantů, stavitelů i investorů měla vždy směřovat k materiálům a technologiím, které pomohou při užívání stavby zajistit co nejnižší energetické nároky.

Inovativní technologie zakládání rodinných domů na základové desce z lehkého betonu s rozptýlenou výztuží, přináší dostatečné tepelně izolační vlastnosti i pro výstavbu nízkoenergetických či pasivních rodinných domů.

Toto řešení by v budoucnu mohlo zcela nahradit stávající technologii provádění základové desky u rodinných domů na klíč projektu Dům jedním tahem a zakázkovou výrobu základových desek od Liaporu. Stávající řešení představuje zakládání na zásypu z vrstvy Liaporu a monolitické vylití železobetonové desky s prutovou výztuží (kari síť). Tento zásyp tvoří z tepelně technického hlediska ideální homogenní izolační vrstvu bez tepelných mostů. Zásyp lze z geotechnického hlediska navrhovat ve vrstvě 0,5-1 m. [46,47]

Ze simulace teplotních polí je patrné, že použitím zásypu z Liaporu pod základovou deskou s klasickou výztuží dokážeme eliminovat tepelnou izolaci podlahové konstrukce v přízemí a tepelně uzavřít celou obálku stavby.

To samé lze předpokládat v použití základové desky z lehkého betonu s rozptýlenou výztuží.

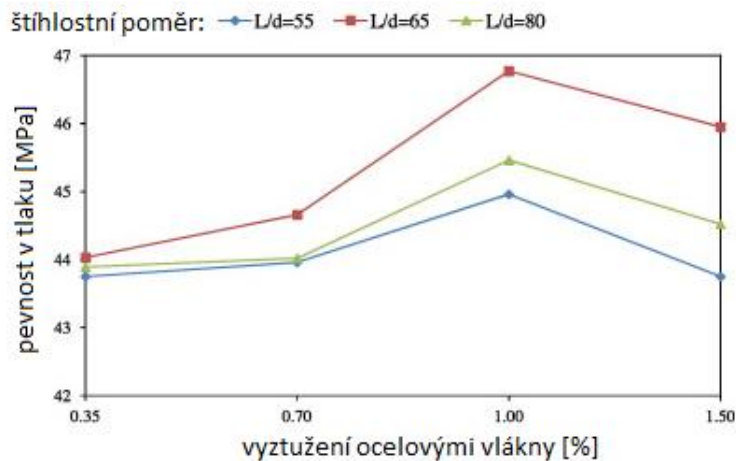


Obrázek 24 Konstrukční detail – klasicky vyztužená deska na podsypu z Liaporu (vlevo), simulace teplotních polí (vpravo) [46]

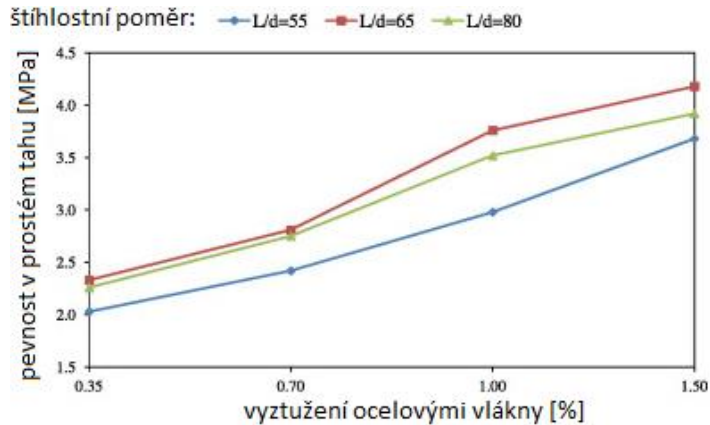
6.5.1 Vyztužení základové desky

U klasicky vyztužených základových desek vkládáme prutovou výztuž do nejvíce namáhaných kritických průřezů. Celkové vyztužení se pohybuje okolo 2,5 %. Kdežto u betonů s rozptýlenou výztuží nejčastěji pouze okolo 1 %. Dávkovat můžeme samozřejmě i více na úkor zpracovatelnosti.

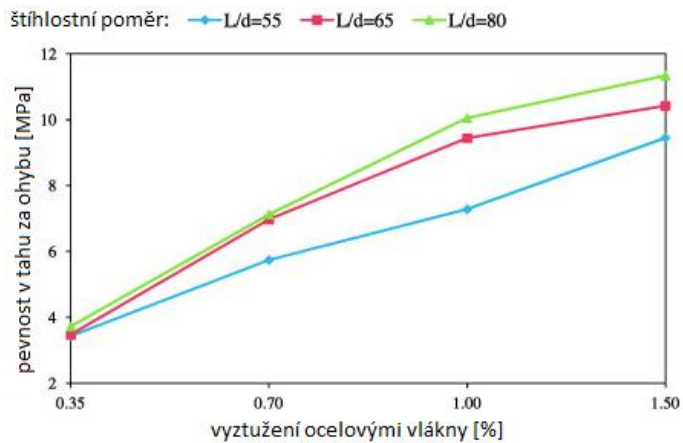
Studie rozděluje vyztužení lehkého betonu do třech kategorií. Nízké vyztužení do 1 %, střední vyztužení do 2 % a vysokém vyztužení nad 2 %. Vyztužením lehkého betonu ocelovými vlákny, dosáhneme navýšení pevnosti v prostém tahu, v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku. Závislost na velikosti štíhlostního poměru a míře vyztužení lehkého betonu ocelovými vlákny je vidět na obrázcích č. 25, 26 a 27. [43]



Obrázek 25 závislost vyztužení na pevnosti v tlaku [43]



Obrázek 26 závislost vyztužení na pevnosti v prostém tahu [43]



Obrázek 27 závislost vyztužení na pevnosti v tahu za ohybu [43]

U rodinných domů s malým rozpětím a stěnovým zatížením lze předpokládat, že na základové desce z lehkého betonu s rozptýlenou výztuží lze dům založit. Ale stejně je pro návrh plošného založení objektu na základové desce z Liaporu s rozptýlenou výztuží zapotřebí statické zatěžovací schéma, informace o únosnosti a stlačitelnosti podloží v kombinaci s řadou průkazných laboratorních zkoušek.

V případě betonáže bodově podepřených prvků (sloupů) se jedná o rozsáhlejší statickou analýzu a předpokládá se použití v kombinaci s prutovou výztuží.

Pro navrhování drátkobetonových konstrukcí bohužel neexistují v současné době žádné platné normy. Je důležité ustanovit teoretický základ pro výpočet drátkobetonových konstrukcí podle mezních stavů únosnosti i použitelnosti.

Klíčovým požadavkem na normy o vláknobetonu je změření chování po vzniku trhlin, duktility a jejich zavedení do výpočtu. [9]

6.6 Využití ve stěnových panelech

Stěnové prvky, konkrétně příčky, monoliticky vytvořené z lehkého betonu s rozptýlenou výztuží, mají výborné akustické a akumulční vlastnosti. Již při malých tloušťkách dosahují výborné ochrany proti hluku. Vyznačují se vyšším indexem zvukové neprůzvučnosti, tedy výbornými zvukově izolačními vlastnostmi ve srovnání s příčkami z jiných materiálů svého druhu o stejné plošné hmotnosti.

K dalším přínosným vlastnostem příček patří nízká objemová hmotnost, požární odolnost a zvýšená duktilita. Zde se výhodně využije sorpční a difúzní schopnosti a vynikající akumulční vlastnosti Liaporu, které zaručují stejně příjemné klima jako v cihlových domech.

Tato monolitická technologie by mohla být alternativní možností výstavby rodinných domů. Nyní u projektu Dům jedním tahem od Liaporu, probíhá výstavba obvodových stěn i příček pomocí prefabrikovaných stěnových panelů vyztužené klasickou výztuží. Monolitická technologie výstavby stěn by mohla být řešením pro atypickou výstavbu rodinných domů. [47]



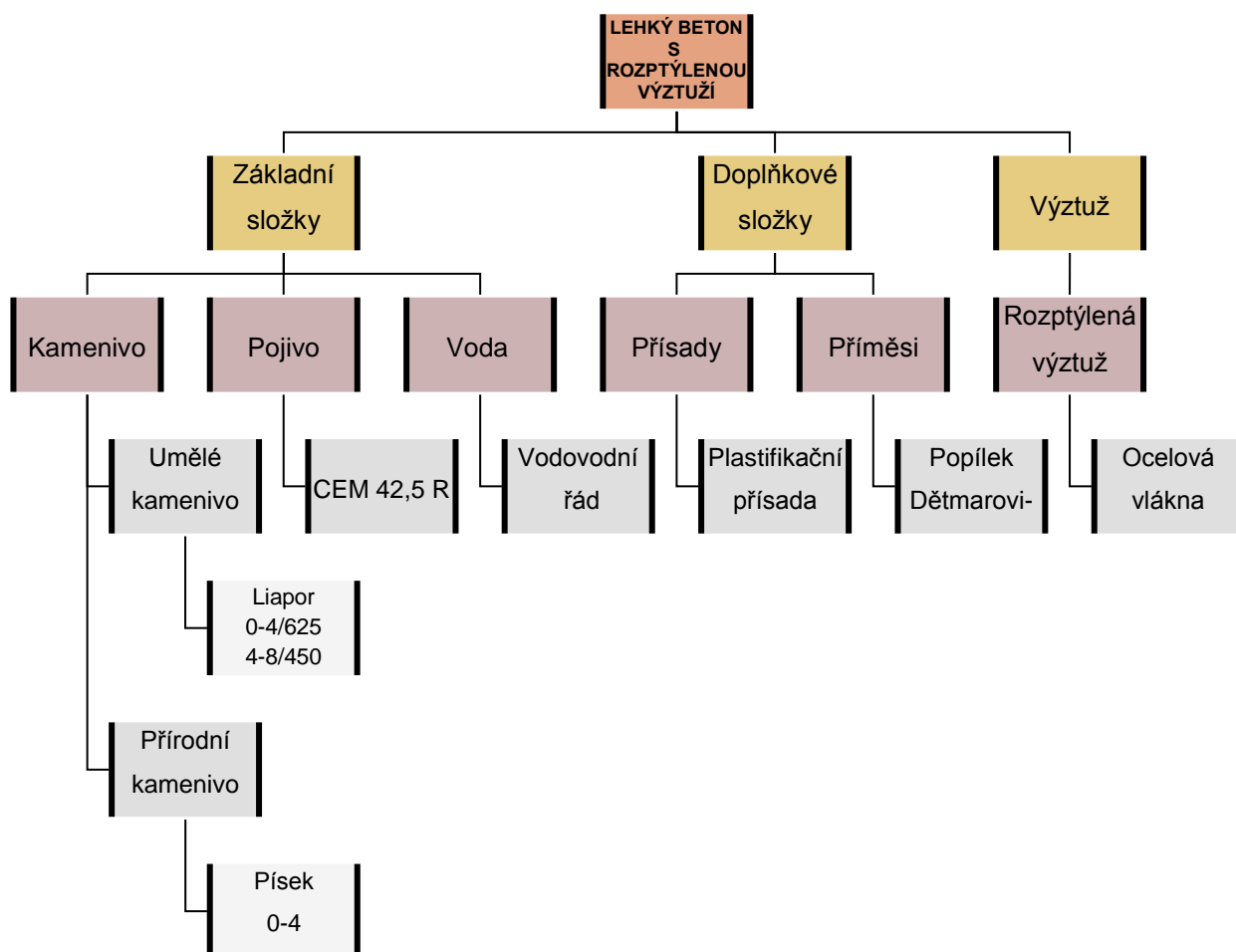
Obrázek 28 Stávající prefabrikovaná výstavba stěnových prvků [47]

7 EXPERIMENTALNÍ ČÁST

Úkolem v experimentální části je navrhnout dvě receptury lehkých hutných betonů SFRLC 20/22D1,6 a SFRLC 25/28D1,8. Obě receptury o konzistenci S3 se zvolením vhodných ocelových vláken délky 50 až 60 mm a ověřit jejich dopad na vlastnosti čerstvých i ztvrdlých betonů při dávkování 25 kg vláken na 1 m³ betonu.

7.1 Vstupní suroviny

Vstupní suroviny pro výrobu betonu byly zvoleny tak, aby splňovaly zadání bakalářské práce a aby se podobaly vstupním surovinám, které používá Lias Vintřův a.s.



- **Lehké umělé kamenivo**

Bylo použito uměle vyrobené lehké pórovité kamenivo Liapor CZ, kamenivo s označením 1-4/625, frakce 0-4 mm a sypnou hmotností 625 kg/m³ a kamenivo s označením 4-8/450, frakce 4-8 mm se sypnou hmotností 450 kg/m³. Ostatní parametry v technickém listě na straně 86.

- **Drobné přírodní kamenivo**

Bylo použito přírodní drobné těžené prané kamenivo frakce 0-4 mm ze Žabčic.

- **Pojivo**

Jako pojivo bylo použito portlandský cement (CEM I 42,5R) pevnostní třídy 42,5R, s měrným povrchem 375 m²/kg a měrné hmotnosti 3110 kg/m³. Od společnosti Českomoravský Cement, a.s., závod Mokrá. Ostatní parametry v technickém listu na straně 87-88.

- **Rozptýlená výztuž**

Jako rozptýlená výztuž byla použita ocelová vlákna KrampeHarex DE 50/0,8 N. Vlákna byla použita délky 50 mm ± 10 %, tloušťky 0,8 mm ± 10 %, s tvarovanými konci. S pevností v tahu 1200 MPa ± 15 %. Viz technický list na straně 89.

- **Příměs**

Popílek z elektrárny Dětmarovice. Elektrárna Dětmarovice je součástí elektrárenské společnosti ČEZ, a.s. Spalováním černouhelného prachu vyrábí jako vedlejší produkt popílek pro stavební účely. Popílkový produkt ČEZ, a.s. jsou certifikovanými stavebními výrobky s danými vlastnostmi.

- **Přísada**

Byla použita superplastifikační přísada Sika ViscoCrete 1035 na bázi polymerů. Parametry viz technický list na straně 90-91.

- **Voda**

Voda byla použita z vodovodního řádu.

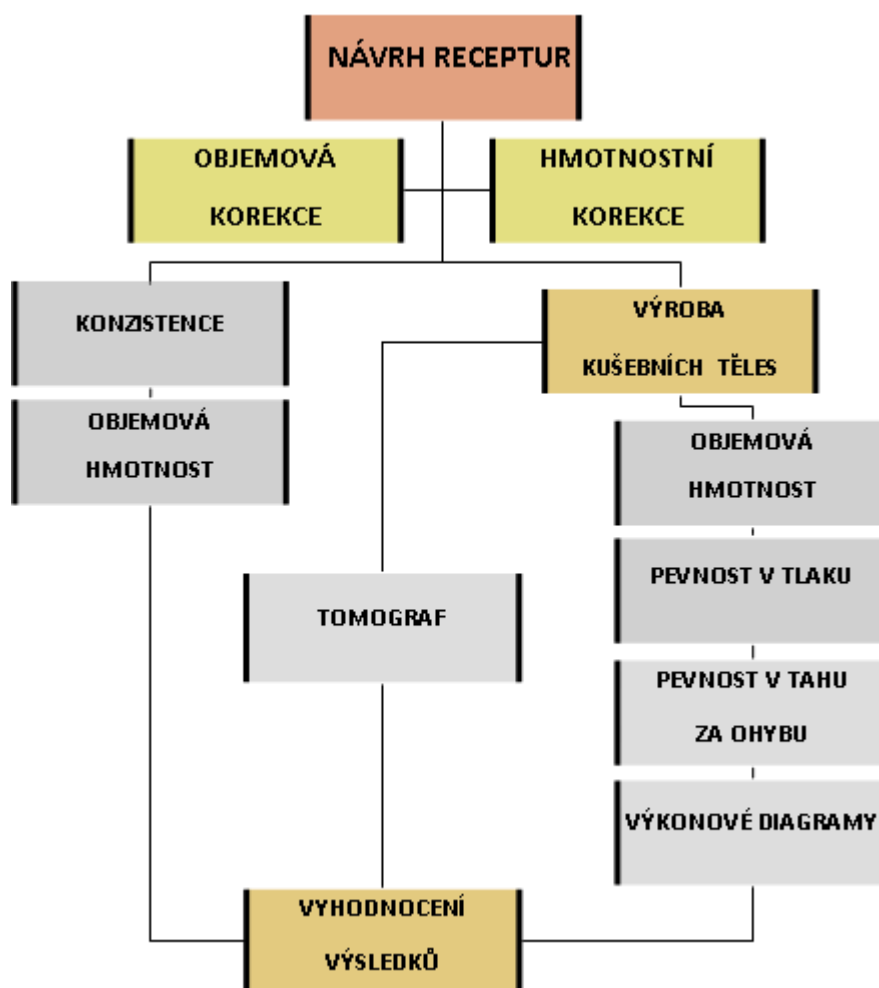
7.2 Postup práce

V praktické části byly navrženy, namíchaný a následně odzkoušeny celkem čtyři receptury o stejné konzistenci. A to dvě receptury s ocelovými vlákny a 2 receptury referenční bez ocelových vláken.

Od každé receptury byly zhotoveny tyto zkušební tělesa:

- 3 × krychle 150 × 150 × 150 mm
- 3 × malý hranol 100 × 100 × 400 mm
- 3 × velký hranol 150 × 150 × 700 mm (pouze u receptury s drátky)

Všechny výsledky jednotlivých receptur na odpovídajících zkušebních tělesech byly následně zprůměrovány a zavedeny do grafů.



7.3 Receptury

Receptury byly navrženy nejprve experimentálně, aby seděly objemově i hmotnostně, a dále upravovány výpočtem.

Tabulka 9 Složení receptur

Surovina	označení receptury			
	REF LC 20/22D1,6	SFRLC 20/22D1,6	REF LC 25/28D1,8	SFRLC 25/28D1,8
Liapor 4-8/450 [l]	430	430	380	380
Liapor 0-4/625 [l]	258	258	133	133
Kamenivo 0-4 [kg]	600	600	1000	1000
CEM I 42,5R [kg]	325	325	375	375
Popílek [kg]	100	100	100	100
Voda [kg]	145	160	159	172
Superplastifikační přísada 1035 [kg]	2,93	2,93	3,38	3,38
Ocelová vlákna [kg]	-	25	-	25

7.4 Výroba zkušebních těles

Zkušební tělesa byla vyrobena v souladu s technickou normou ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušení pevnosti, kterou doplňuje norma ČSN P 732452.

Pro výrobu trámčů byly použity formy ocelové, pro výrobu krychlí formy plastové. Formy byly předem ošetřeny tenkou vrstvou odformovacího přípravku. Zkušební tělesa byla plněna ručně ve dvou vrstvách do forem, za horizontální vibrace na vibračním stole. Druhý den po odformování byla všechna zkušební tělesa uložena do vlhké komory ke zrání, kde byla zajištěna stálá teplota okolo 20 °C a relativní vlhkost větší než 80 %.

7.5 Ověřování vlastností čerstvého a ztvrdlého betonu

U receptur byl sledován vliv vláken na reologické vlastnosti betonu, které byly sledovány zkouškou sednutím kužele dle ČSN EN 12350-2.

Dále byly stanoveny základní fyzikálně-mechanické vlastnosti:

- Objemová hmotnost čerstvého betonu dle ČSN EN 12350-6 a ČSN P 732451
- Objemová hmotnost ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12350-7 a ČSN P 732452
- Pevnost v tlaku dle ČSN EN 12390-3
- Pevnost v tahu za ohybu dle ČSN EN 12390-5
- Výkonové diagramy dle ČSN P 73 2452

7.6 Zkoušení čerstvého betonu

Vlastnosti čerstvého drátkobetonu se ověřují standardizovanými zkušebními postupy shodnými pro zkoušky obyčejného čerstvého betonu, tedy dle souboru norem ČSN EN 12350, kterou doplňuje norma ČSN P 732451. [24]

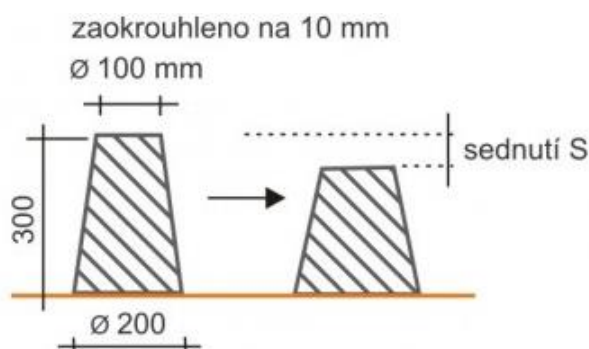
Ohledně namíchání byly na čerstvém betonu provedeny tyto zkoušky:

7.6.1 Zkouška sednutí

Bezprostředně po smíchání všech vstupních surovin se přistoupilo ke zkoušení reologických vlastností betonu. Základní reologickou vlastností je konzistence betonové směsi. Zkouška sednutí kužele dle ČSN EN 12350-2. [24]

Abramsův kužel s podkladní deskou se navlhčí a forma se položí na vodorovnou podkladní desku. Forma musí být během plnění pevně přichycená k podkladní desce přišlápnutím příložek. Nádoba se plní ve třech vrstvách, každá o 1/3 výšky kužele. Každá vrstva se zhutňuje 25 vpichy vlhkou propichovací tyčí tak, aby mírně zasahovaly do předchozí vrstvy. Přebytečný beton shora kužele se odstraní. Forma se oddělí od betonu během 5 až 10 s. Ohledně zvednutí se změří stupeň sednutí. Výsledkem zkoušky je rozdíl výšky sednutého kužele betonu měřeného v nejvyšším bodě oproti výšce formy kužele. [24]

Tabulka 10 Zatřídění konzistence dle sednutí



Obrázek 29 Schéma sednutí kužele [17]

Stupeň sednutí	Sednutí [mm]
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	Víc jak 220

7.6.2 Objemová hmotnost čerstvého betonu

Po ukončení reologických zkoušek byla zjištěna objemová hmotnost čerstvého betonu podle ČSN EN 12350-6 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost, kterou doplňuje norma ČSN P 732451. U všech receptur byly stanoveny objemové hmotnosti čerstvého betonu. Objemová hmotnost čerstvého betonu se provedla zvážením prázdných forem, naplněním, zhutněním a opětovného zvážením forem. [25] Tímto byly ukončeny zkoušky na čerstvém betonu.

7.7 Zkoušení ztvrdlého betonu

Zkoušky ztvrdlého drátkobetonu se provádějí rovněž standardizovanými postupy dle norem řady ČSN EN 12390, kterou doplňuje norma ČSN P 732452. Po 28 dnech normového zrání byly na zkušebních vzorcích provedeny tyto zkoušky:

7.7.1 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu [28]. Objemová hmotnost byla spočítána dle vzorce:

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\text{kg}/\text{m}^3 \right]$$

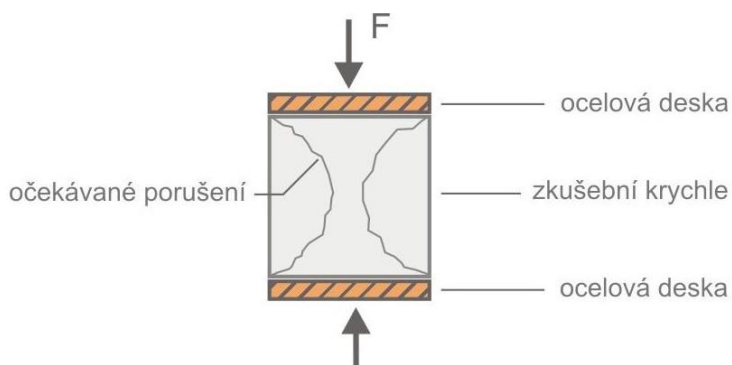
V objem krychle $[\text{m}^3]$
 m hmotnost krychle $[\text{Kg}]$

7.7.2 Pevnost v tlaku

Zkouška pevnosti betonu v tlaku se provádí dle ČSN EN 12390-3 [27] na zkušební krychli, nebo zkušebním válci. Třída betonu se proto označuje oběma charakteristickými hodnotami těchto pevností (např. C25/30). [17]

Pro obyčejné betony byl zaveden poměr mezi charakteristickými hodnotami pevností získaných z měření na válcích a na krychlích 0,8. Pro lehké betony lze tento poměr změnit na 0,9.

Pevnost v tlaku byla provedena na zkušební krychli o hraně 150 mm. Ze zkušebního lisu byla odečtena maximální hodnota zatížení F při rozdrcení zkušební krychle. A následně spočítaná pevnost betonu v tlaku.



$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad [Mpa]$$

f_c pevnost betonu v tlaku

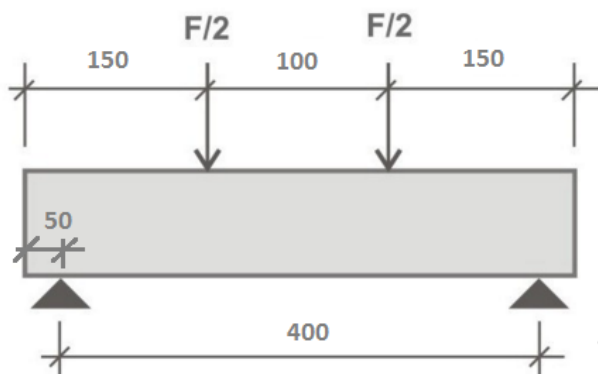
F maximální zatížení [N]

A_c prurezová plocha [mm]

Obrázek 30 Schéma zkoušky pevnosti v tlaku [17]

7.7.3 Pevnost v tahu ohybem (čtyřbodové uspořádání)

Pevnost v tahu má pro chování drátkobetonových prvků podstatně větší význam. Zkouška pevnosti v tahu ohybem se provádí dle ČSN EN 12390-5 na zkušebních hranolech 100 × 100 × 400 mm. Pevnost v tahu ohybem na mezi vzniku makrotrhliny byla vyjádřena v MPa. [27,17]



$$f_{cf} = \frac{F \cdot l}{d_1 \cdot d_2^2} \quad [MPa]$$

F maximální zatížení [KN]

f_{cf} pevnost vtahu za ohybu

l vzdálenost podpor [mm]

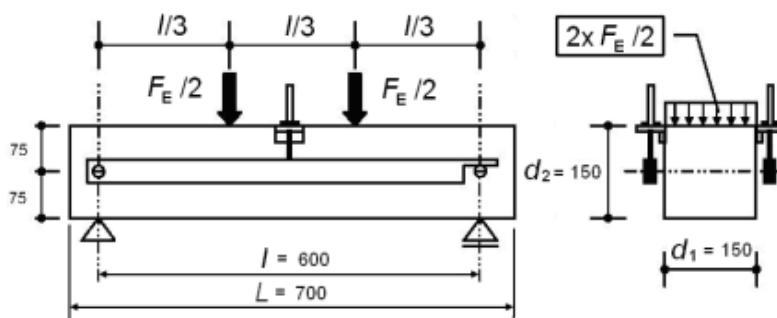
d_1, d_2 rozmery pricneho rezu telesa [mm]

Obrázek 31 Schéma zkoušky pevnosti tahu za ohybu [17]

7.7.4 Výkonový diagram

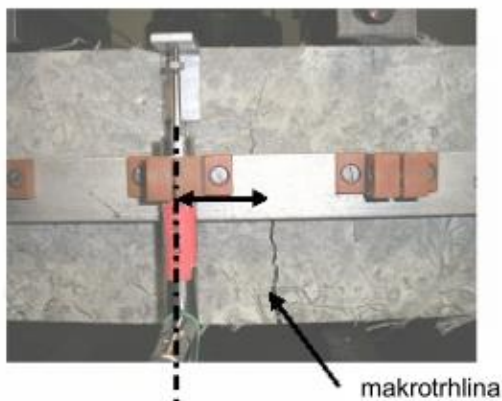
Rozdíl mezi vláknobetonem a prostým betonem je dobře patrný při porovnání výkonových diagramů obou betonů při namáhání v tahu za ohybu. Projeví se nejen vzrůst pevnosti v tahu způsobený oddálením vzniku trhlinek v jeho struktuře, ale především to, že po vzniku makrotrhliny aktivovaná vlákna dokáží přenášet jistá reziduální namáhání. [21]

Tato vlastnost se zjišťuje zkouškou pevnosti betonu v tahu za ohybu dle ČSN P 732452. Jedná se o zatěžování čtyřbodovým ohybem na minimálně šesti trámcích $150 \times 150 \times 700$ mm, kde je zatěžování řízeno rychlostí průhybu trámce průměrně $0,2$ mm/min. [30]



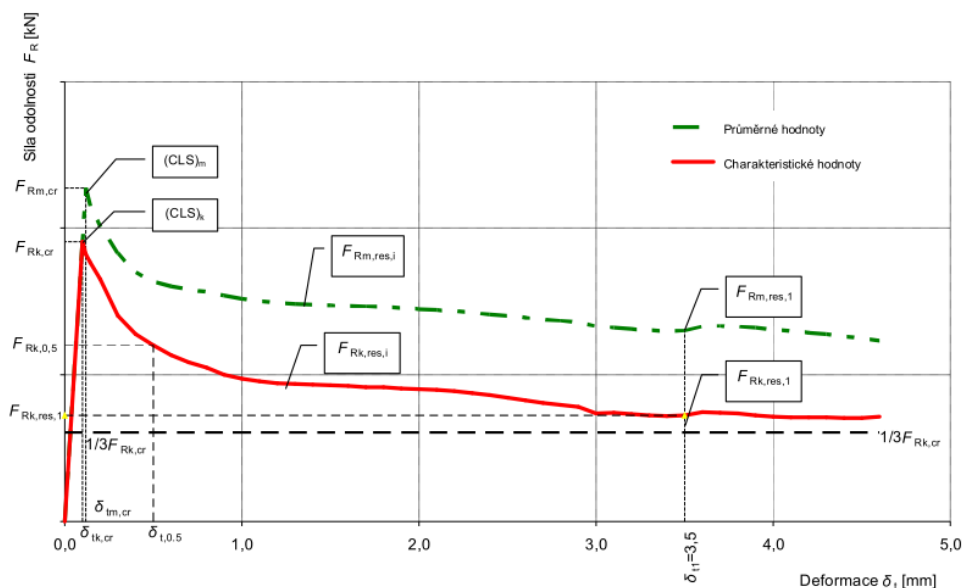
Obrázek 32 Uspořádání zkoušky [30]

Výsledkem je graf závislosti průhybu na velikosti zatěžovací síly před vznikem a po vzniku makrotrhliny. Zaznamená se i přesná poloha makrotrhliny. [30]



Obrázek 33 Poloha makrotrhliny [30]

Pro každý získaný záznam diagramu se vyhodnotí mez vzniku makrotrhliny (CLS) nebo síla na mezi vzniku makrotrhliny $F_{Ri,cr}$ a odpovídající deformace (průhyb) trámce ve středu rozpětí. Statickým vyhodnocením souboru diagramů se získají výkonové diagramy statické a charakteristické a na jejich základě se stanoví pevnostní třída. Stanovení charakteristické hodnoty odolnosti vychází ze zajištění 5% kvantilu spolehlivosti. [30]



Obrázek 34 Průměrný a charakteristický výkonový diagram [30]

Na základě vyhodnocených výkonových diagramů lze určit vhodnost zkoušeného materiálu pro použití v nosných konstrukcích. [30]

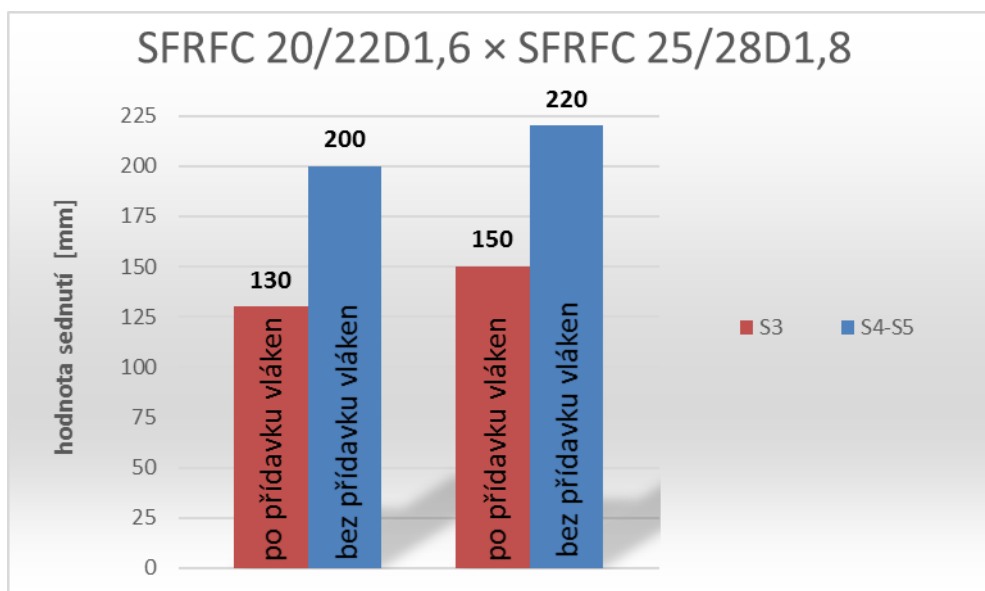
7.8 Výsledky zkoušek

Všechny výsledky zkoušek byly zprůměrovány, zavedeny do grafů a srovnány s danou referenční recepturou bez ocelových vláken o stejné konzistenci.

Receptury:

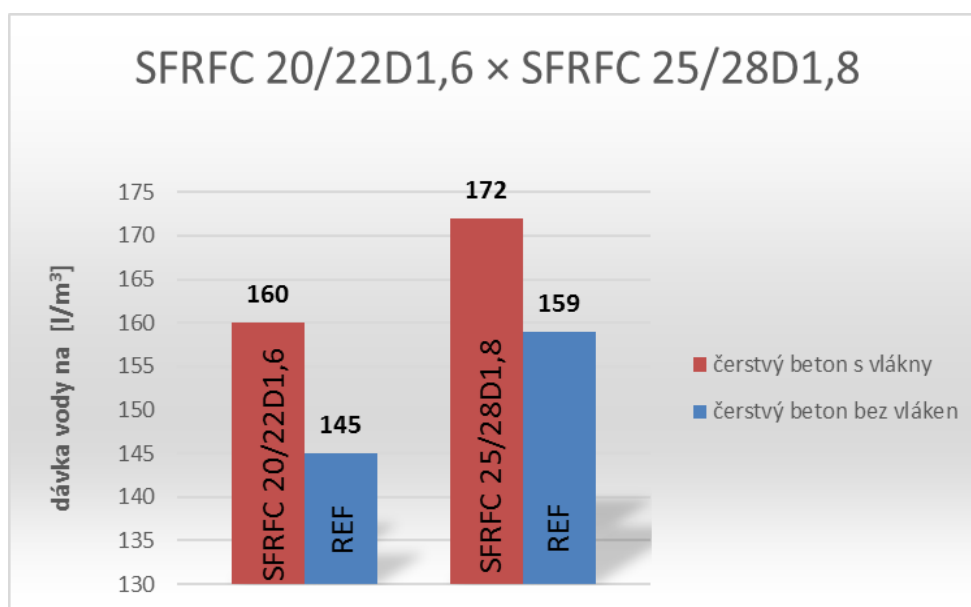
- REF LC 20/22D1,6 × SFRLC 20/22D1,6
- REF LC 25/28D1,8 × SFRLC 25/28D1,8

7.8.1 Konzistence – vliv vláken na stupeň sednutí



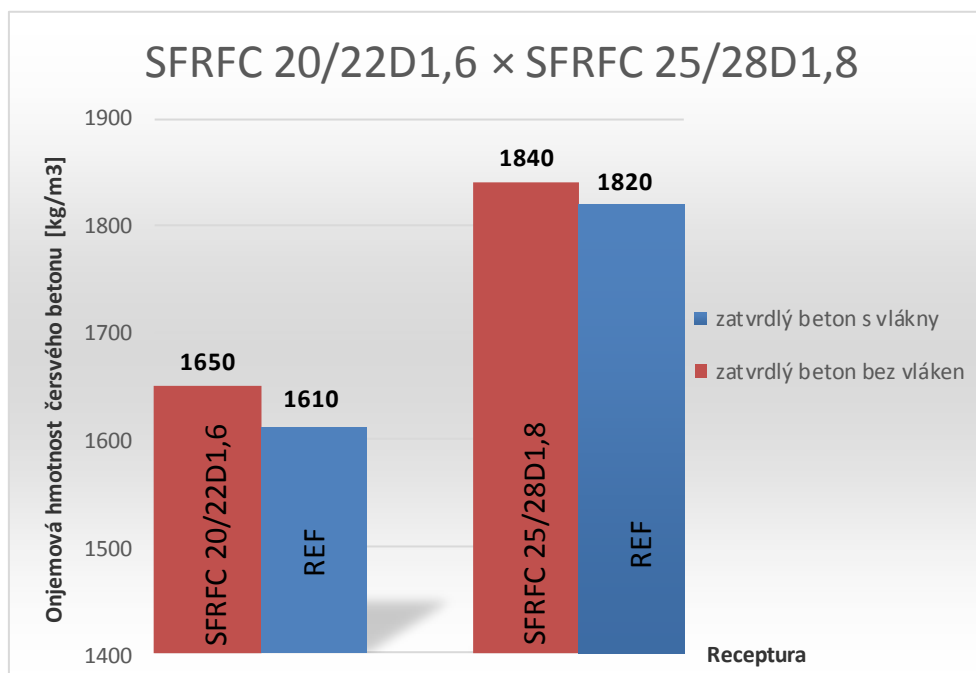
Graf 1 Vliv přidavku ocelových vláken na stupeň sednutí - konzistenci

7.8.2 Konzistence – dávka vody pro dosažení stupně sednutí S3



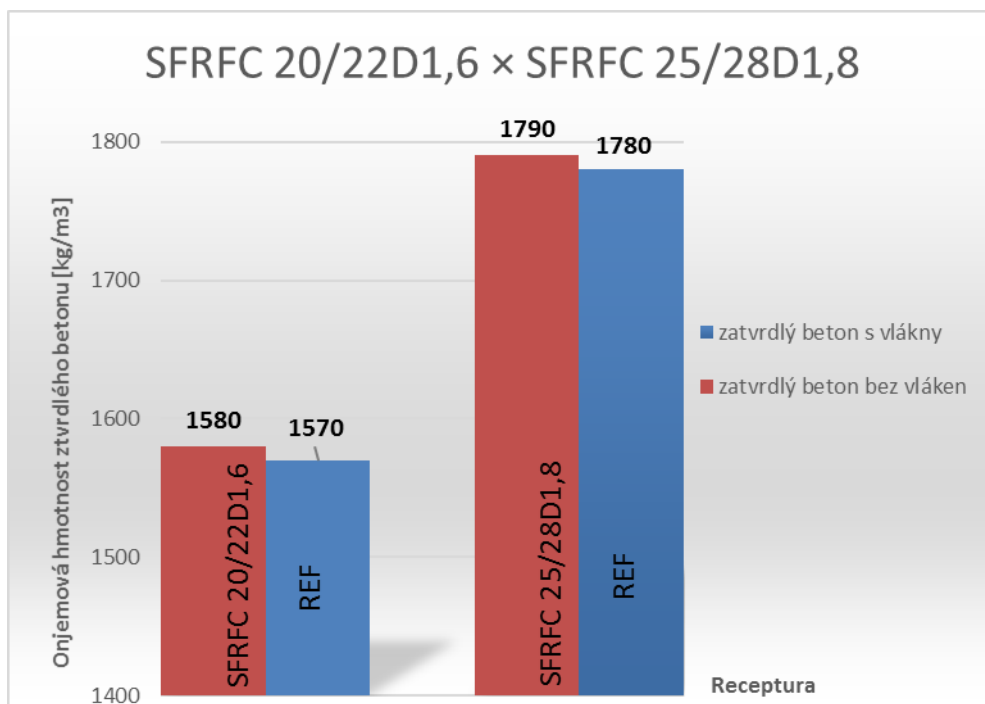
Graf 2 Vliv přidavku ocelových vláken na dávku vody

7.8.3 Objemová hmotnost čerstvého betonu



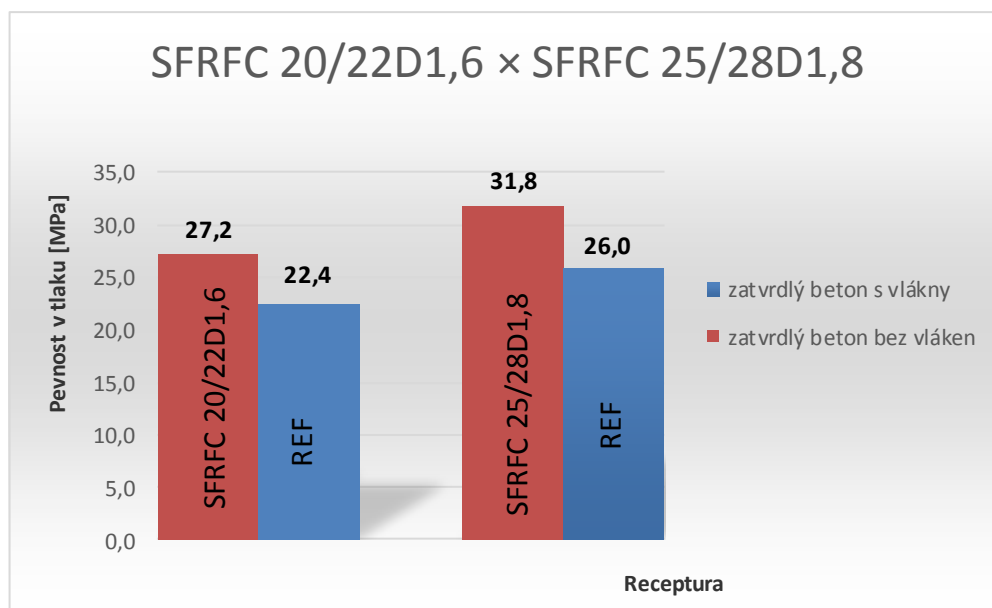
Graf 3 Vliv přidavku ocelových vláken na objemovou hmotnost čerstvého betonu

7.8.4 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu



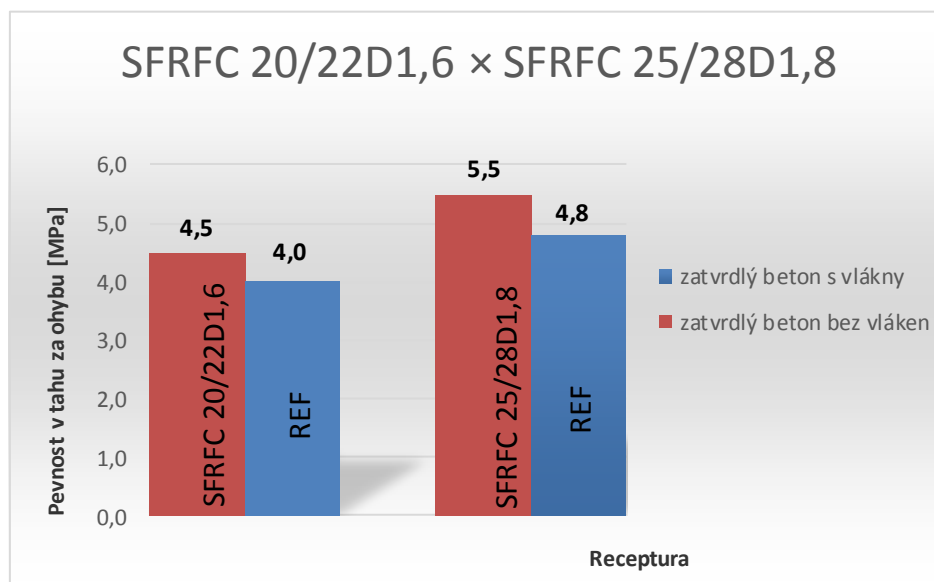
Graf 4 Vliv přidavku ocelových vláken na objemovou hmotnost ztvrdlého betonu

7.8.5 Pevnost v tlaku



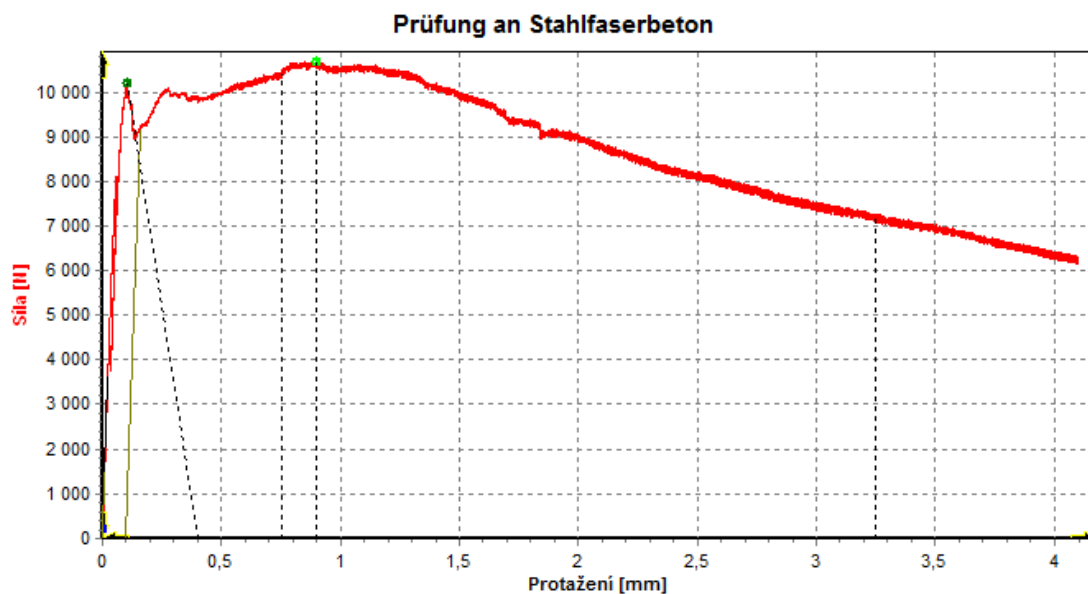
Graf 5 Vliv přidavku ocelových vláken na pevnosti v tlaku

7.8.6 Pevnost v tahu za ohybu – čtyřbodový ohyb



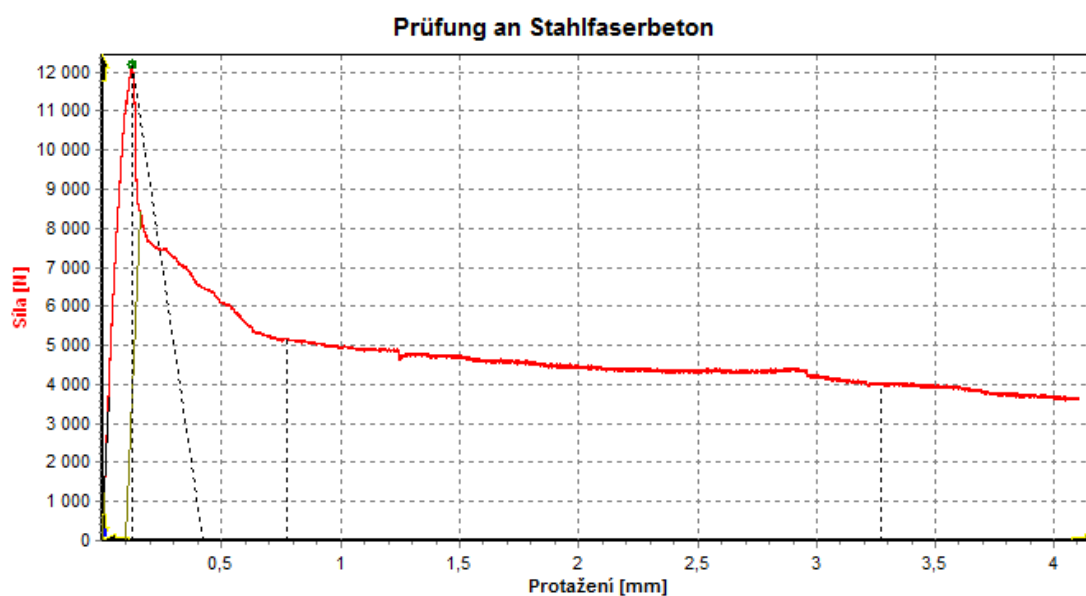
Graf 6 Vliv přidavku ocelových vláken na pevnosti v tahu za ohybu

7.8.7 Výkonové diagramy receptury SFRLC 20/22D1,6



Graf 7 Výkonový diagram na trámci č. 1 700×150×150

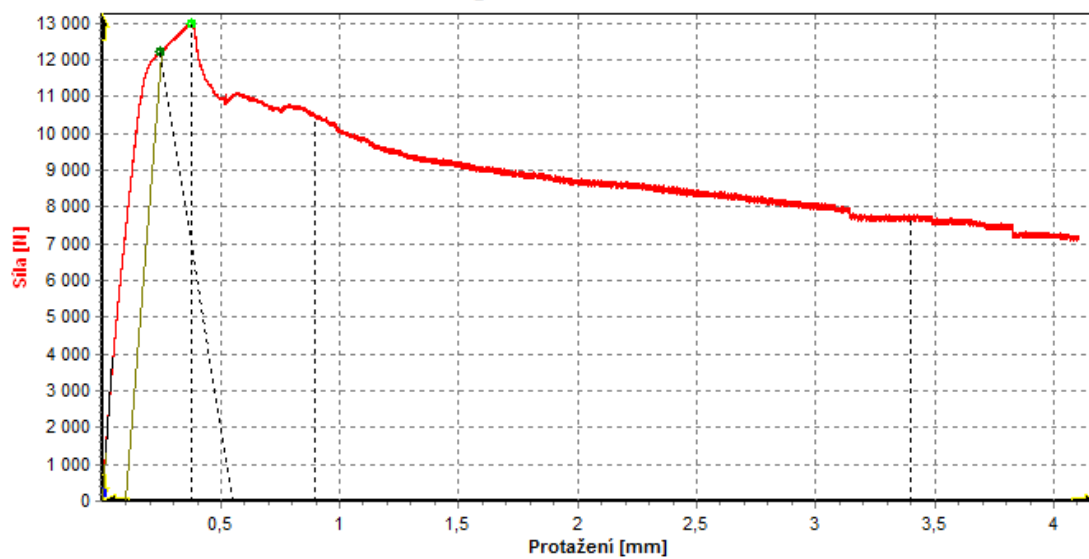
protažení	síla [N]
0,5	9 995
3,5	7 020
Fmax	10 711



Graf 8 Výkonový diagram na trámci č. 2 700×150×150

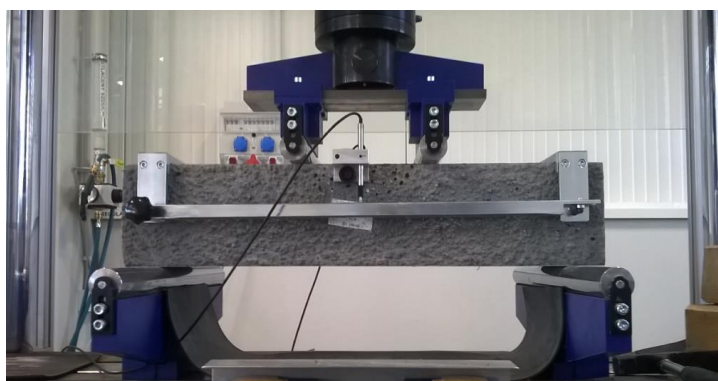
protažení	síla [N]
0,5	6 093
3,5	3 944
Fmax	12 207

Prüfung an Stahlfaserbeton



protažení	síla [N]
0,5	10 955
3,5	7 595
Fmax	13 002

Graf 9 Výkonový diagram na trávci č.3 700×150×150

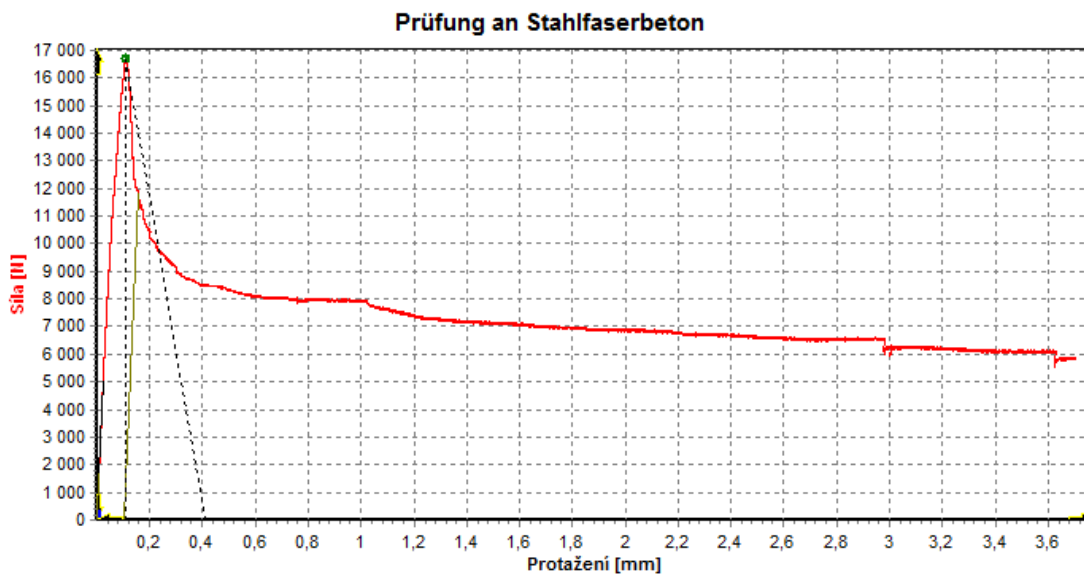


Obrázek 35 Uspořádání zkoušky



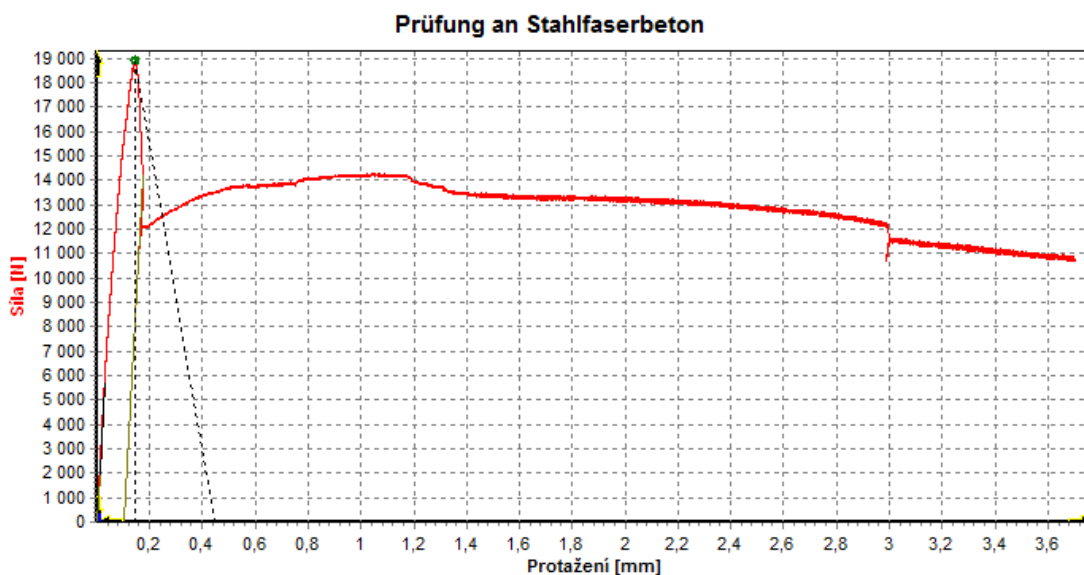
Obrázek 36 Poloha makrotrhliny

7.8.8 Výkonové diagramy receptury SFRLC 25/28D1,8



protažení	síla [N]
0,5	8 324
3,5	6 097
Fmax	16 725

Graf 10 Výkonový diagram na trávci č. 1 700 × 150 × 150

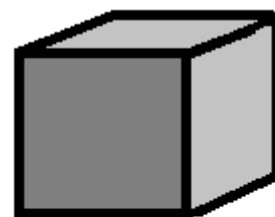


protažení	síla [N]
0,5	13 711
3,5	10 950
Fmax	18 937

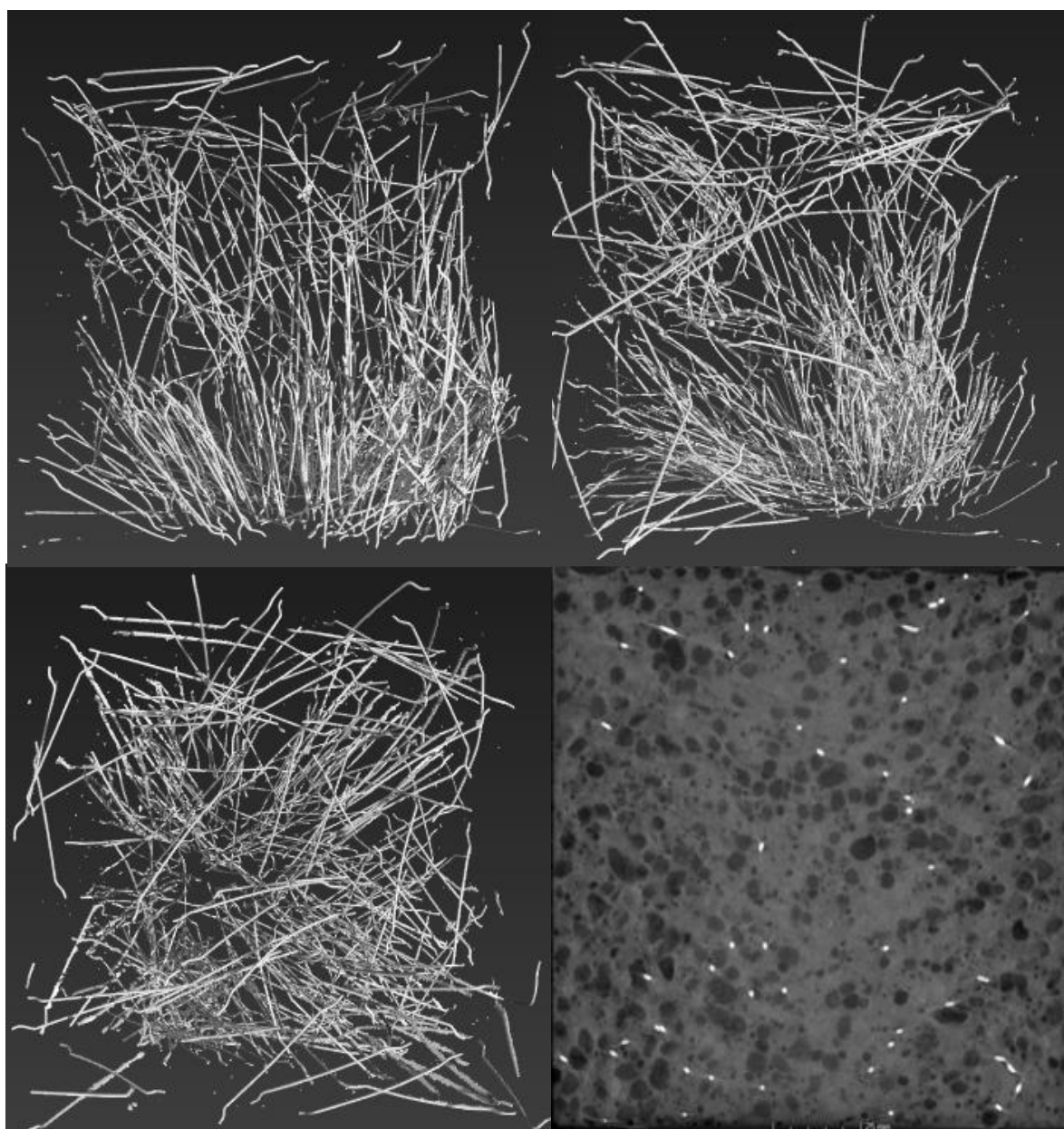
Graf 11 Výkonový diagram na trávci č. 2 700 × 150 × 150

7.8.9 Tomograf

Jedno zkušební těleso ve tvaru krychle o hraně 150 mm bylo prozářeno na tomografu a tím ověřena poloha drátků, shluků, vliv magnetického upínače na směr drátků a případné anomálie. Také touto metodou bylo prověřeno rovnoměrné rozložení Liaporu ve zkušebním tělese (řez).



VIBRACE +
MAGNETICKÝ UPÍNAČ



Obrázek 37 Snímky z tomografu (zpředu, zezadu, shora a řez)

7.9 Souhrnné výsledky

Tabulka 11 Souhrnné výsledky všech receptur

ZKOUŠKA	REF LC 20/22D1,6	SFRLC 20/22D1,6
Pevnost v tlaku	22,4 MPa	26,7 MPa
Pevnost v tahu za ohybu	3,95 MPa	4,50 MPa
Únosnost při průhybu 0,5 mm	-	9,01 kN
Únosnost při průhybu 3,5 mm	-	6,19 kN
Max. únosnost	-	11,97 kN
Objemová hmotnost	1570 kg/m ³	1580 kg/m ³
ZKOUŠKA	REF LC 25/28D1,8	SFRLC 25/28D1,8
Pevnost v tlaku	25,95 MPa	31,77 MPa
Pevnost v tahu za ohybu	4,8 MPa	5,5 MPa
Únosnost při průhybu 0,5 mm	-	11,02 kN
Únosnost při průhybu 3,5 mm	-	8,52 kN
Max. únosnost	-	17,83 kN
Objemová hmotnost	1790 kg/m ³	1790 kg/m ³

7.10 Diskuze k výsledkům

Pro dosažení požadované konzistence musela hodnota sednutí kužele u receptur před přidavkem vláken být v rozmezí 200-220 mm, tedy v kategorii S4 až S5. Po přidavku 25 kg/m³ ocelových vláken konzistence poklesla na 150-130 mm (kategorie S3). Vyšší dávky vláken nad 35 kg/m³ by již způsobovaly velmi tuhou konzistenci. Vody bylo dávkováno o 15 litrů méně u receptury REF LC 20/22D1,6 oproti receptuře SFRLC 20/22D1,6. U receptury REF LC 25/28D1,8 o 13 litrů méně oproti receptuře SFRLC 25/28D1,8. Objemové hmotnosti čerstvého betonu neodpovídaly požadovaným objemovým třídám. Vyšší objemová hmotnost je způsobena přítomností smáčecí vody. Po ztvdnutí betonu a po odpaření smáčecí vody (po 28 dnech) odpovídají obě receptury zadaným objemovým třídám, tedy D1,6 a D1,8. Je tedy nutno s hmotností této vody (50-70 kg/m³) počítat již při návrhu receptur. Také je nutno počítat s hmotností přidávaných ocelových vláken.

Při zkoušce pevnosti v tlaku obě receptury vyhověly zadaným pevnostním třídám. V obou případech ocelová vlákna navýšila tlakové pevnosti o zhruba 5 MPa (20 %) oproti referenčním recepturám. Tento pozitivní vliv vláken je poněkud neobvyklý, je způsobený větší křehkostí a nižším modulem pružnosti lehkého betonu.

Pevností nad 25 MPa dosáhneme jen v případě použití kombinace Liaporu s přírodním kamenivem a objemovými hmotnostmi vyššími než 1600 kg/m³. Doporučuji se držet horní hranice dané objemové třídy.

U obou receptur ocelová vlákna pevnost v tahu za ohybu navýšila o zhruba 0,6 MPa (13 %). Tím bylo potvrzeno, že byla dosažena potřebná soudržnost na rozhraní vlákna s betonem. Geometrie, dávka a fyzikálně-mechanické vlastnosti vláken se také ukázaly jako vhodné.

Výkonové diagramy ukazují kladný vliv ocelových vláken na duktilitu konstrukce a potvrdily tak fakt, že ocelová vlákna v interakci v lehkých betonech jsou schopna přenášet jistá reziduální zatížení po vzniku makrotrhliny.

Výsledky z tomografu ukazují, že negativní vliv magnetického upínače na polohu ocelových vláken je markantní a ovlivňuje tak konečné výsledky.

Z řezu je patrné, že bylo dosažené rovnoměrné rozložení Liaporu v ploše zkušebního tělesa a že nedocházelo k segregaci.

8 ZÁVĚR

Hutné lehké betony s rozptýlenou ocelovou výztuží mají všechny předpoklady pro použití v některých nosných konstrukcích energeticky efektivních prefabrikovaných budov.

Je třeba upozornit, že vliv přídavku ocelových vláken na výsledné fyzikálně-mechanické vlastnosti ztvrdlých betonů je rozdílný u lehkých betonů s použitím výhradně lehkého kameniva oproti lehkým betonům s přídavkem přírodního kameniva. V tomto případě byla použita kombinace lehkého a přírodního kameniva.

Ocelová vlákna ve všech případech příznivě působí na tahové pevnosti, obzvláště na reziduální pevnosti po vytvoření makrotrhliny. Ocelová vlákna kladně ovlivňují křehkost lehkého betonu a zvyšují tlakové pevnosti. V úvahu tedy připadají pouze ocelová vlákna.

Výsledky z tomografu ukazují, že poloha vláken je silně ovlivněna magnetickým upínačem forem k vibračnímu stolu. Právě poloha a směr vláken je u drátkobetonů klíčová. Proto nedoporučuji tento způsob výroby zkušebních těles.

Při technologii výroby, ukládání a ošetřování existují určité odlišnosti, které je třeba akceptovat. Jedná se především o vyřešení nasákavosti lehkého kameniva. Použitím nasáklého lehkého kameniva vodou se dosáhne stabilnější reologické chování čerstvého betonu.

Výsledný cementový kompozit získá aplikací vláken a Liaporu specifické vlastnosti, které lze efektivně využít při výstavbě.

Díky poréznímu jádru Liaporu má výborné zvukově izolační vlastnosti a vynikající tepelně izolační vlastnosti. Ty snižují náklady na vytápění a zlepšují tepelný komfort. Dále porézní struktura Liaporu zajistí zvýšenou mrazuvzdornost, a tím výrazně prodlužuje životnost konstrukce. Významný je vliv samoošetření konstrukce, vynikající akumulární vlastnosti a příznivé

ovlivnění mikroklimatu bytového interiéru způsobené fyzikálními vlastnostmi betonu s lehkým keramickým kamenivem Liapor.

Díky ocelovým vláknům dokážeme pozitivně ovlivnit rychlost betonáže oproti betonáži s klasickou prutovou výztuží. Zvyšují duktilitu a odolnost vůči vibracím a otřesům. Dále ocelová vlákna příznivě působí na vznik trhlin nejen během hydratace, ale i při užívání stavby.

Další možnou cestou výzkumu je využití lehkého betonu s rozptýlenými ocelovými vlákny v samozhutnitelné verzi.

9 ZDROJE

- [1] Krátký, J., Trtík, K., Vodička, J. Drátkobetonové konstrukce, 1. vydání, Praha, ČKAIT, 1999, 108 s, edice Betonové stavitelství, ISBN 80-86364-00-3
- [2] Liapor. Základní vlastnosti kameniva [online]. Vintřřov. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.liapor.cz/cz/zakladni-vlastnosti-kameniva>
- [3] PYTLÍK, Petr. Technologie betonu. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000, 390 s. ISBN 80-214-1647-5.
- [4] VÍTEK, Jan. SMIŘINSKÝ Stanislav. VESELÝ Pavel. VARIATION OF STEEL-FIBRE CONCRETE PARAMETERS DEPENDING ON THE MIXING PROCEDURE / ROZPTYL PARAMETRŮ DRÁTKOBETONU VE VAZBĚ NA ZPŮSOB JEHO VÝROBY. FIBRE CONCRETE 2013 [online] Praha, 2013, roč. 13 [cit. 2016-05-08] Dostupné z: <http://www.betotech.cz/stahnout-soubor?id=182>
- [5] CEMEX. Příručka liaporbeton [online] Praha, 2006 [cit. 2016-05-09] s. 20 Dostupné z: http://www.betonsserver.cz/Katalogy/Readymix/Prirucka_liapor.pdf
- [6] TWINTEC. Building flat floors. twintec.co.uk [online] United Kingdom, ©2010 [cit. 2016-05-09] Dostupné z: <http://www.twintec.co.uk/technology/fibres.php>
- [7] VAŠKOVÁ, Jitka. EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘOVÁNÍ CHOVÁNÍ VLÁKNOBETONOVÝCH PRVKŮ. *BETON* [online] Praha, 2010-02, č. 2, s. 74-78 [cit. 08-05-2015]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-2-74.pdf>
- [8] ŽÁČKOVÁ, Lucie. Vliv druhu a dávky rozptýlené výztuže na vybrané vlastnosti betonu: diplomová práce. Brno, 2013. 118s., 18 s. příl. Vysoké

učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav stavebního zkušebnictví.
Vedoucí práce: Ing. Jaromír Láník

- [9] BROUKALOVÁ, Iva. VLÁKNOBETON A NORMY PRO NAVRHOVÁNÍ. *BETON* [online] Praha, 2010-02, č. 2, s. 100-101 [08-05-2015]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-2-74.pdf>
- [10] SAJDLOVÁ, Tereza. Drátkobeton Určování parametrů materiálových modelů z výsledků experimentů. 2011-04-13 [2016-05-05] Dostupné z: http://mech.fsv.cvut.cz/wiki/images/c/ce/Bazant_2011_sajdlova.pdf
- [11] MOSTAFA, Fakharifar. Mechanical properties of high performance fiber reinforced cementitious composites. In: Sciencedirect.com [online]. United States, 11-2014 [cit. 2016-04-23]. 11 s. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0950061814009805>
- [12] HUBERTO VÁ Michala, HELA, Rudolf. Využití vláken v technologii lehkých samozhutnitelných betonů. *Materiály pro stavbu* [online]. Brno, 2006-9, č. 9 [cit. 08-05-2015] 4 s. Dostupné z: http://www.liapor.cz/liapor_tisk/2006/beton/materialy_pro_stavbu_9.pdf
- [13] CHANH, Nguyen. Steel Fibre Reinforced Concrete. [online]. Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam. 2014-05 [cit. 2016-05-05] 8 s. Dostupné z: [http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter05/8Vietnam%20Joint%20Seminar\(CHANH\).pdf](http://www.jsce.or.jp/committee/concrete/e/newsletter/newsletter05/8Vietnam%20Joint%20Seminar(CHANH).pdf)
- [14] KUŘE, Václav. Vliv dávkování ocelových vláken na úbytek konzistence čerstvého betonu a pevnost v tlaku ztvrdlého betonu. Brno, 2013. 42 s., 7 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D.

- [15] DROCHYTKA, R. *Lehké stavební látky*. 1. vydání. Brno: Nakladatelství VUT, 1993, 124 s
- [16] Fibre Reinforced Concrete. The constructor [online]. 2012 [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://theconstructor.org/concrete/fibre-reinforced-concrete/150/>
- [17] Svaz výrobců Betonu. Pojmy [online]. Praha: Sunnysoft. [cit. 2016-04-23]. Dostupné z: <http://ebeton.cz/pojmy/>
- [18] FIALA, Jiří. Studium chování betonů při působení vysokých teplot. Brno, 2015. 149 s., diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.
- [19] HELA, Rudolf. Technologie betonu I. 1. vyd. učební opory VUT FAST Brno, 2005. 110 s.
- [20] HELA, Rudolf. Technologie betonu II. 1. vyd. učební opory VUT FAST Brno, 2007. 148 s.
- [21] HUBEROVÁ, Michaela. Lehký vláknobeton s využitím kameniva. *Liapor LiaporNews*. [online] Vintířov, 2006-03, č. 2, s. 4-5 [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.liapor.cz/liapor_news/liapornews_2006-03.pdf
- [22] BYDŽOVSKÝ, Jiří. Vlastnosti a užití stavebních materiálů v konstrukcích. Brno: 2016.
- [23] JISUN, Choi, GOANGSEUO Zi. Influence of fiber reinforcement on strength and toughness of all-lightweight concrete, [online]. Korea, 2014-8-15, 2014-2-6 [cit. 2016-04-30], 9 s. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061814008320>
- [24] ČSN EN 12350-2 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím
- [25] ČSN EN 12350-6 Zkoušení čerstvého betonu – Část 5: Objemová hmotnost

- [26] ČSN EN 12390-2 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti
- [27] ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles
- [28] ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu
- [29] ČSN EN 12620 Kamenivo do betonu
- [30] ČSN P 73 2452 Zkoušení ztvrdlého vláknobetonu
- [31] ČSN EN 206-1 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [32] ČSN EN 1097 Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva
- [33] ČSN EN 13055-1 Pórovité kamenivo – Část1: Pórovité kamenivo do betonu, malty a injektáží malty
- [34] ČSN P 732451 Vláknobeton – zkoušení čerstvého vláknobetonu
- [35] ČSN P 73 2450 Vláknobeton – specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- [36] BEHNAM Vakhshouri. Mix design of light-weight self-compacting concrete, [online]. Australia, 2016-11-14, [cit. 2016-04-05], 14 s. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S2214509515300115?np=y>
- [37] KOHOUTKOVÁ, Alena. VLÁKNOBETONY – BLÝSKÁ SE NA LEPŠÍ ČASY? *BETON* [online] Praha, 2010-02, č. 2, s. 3-5 [cit. 08-05-2015]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2010-2-03.pdf>
- [38] PETŘÍK, Vojtěch. HELMUT, Kurth. ZÁKLADNÍ ASPEKTY NAVRHOVÁNÍ VLÁKNOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ. *BETON* [online] Praha, 2007-01, č. 1, s. 46, [cit. 08-05-2015]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2007-1-46.pdf>

- [39] ADÁMEK, J. Stavební materiály, Akademická nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, leden 1997, ISBN 80-214-0631-3
- [40] Fibre Reinforced Concrete. The constructor [online]. 2012 [cit. 2012-12-29]. [cit. 08-05-2015]. Dostupné z: <http://theconstructor.org/concrete/fibre-reinforced-concrete/150/>
- [41] HELA, R. Technologie betonu II – přednášky. Brno: 2016.
- [42] WANG, H.T. WANG, L.C. Experimental study on static and dynamic mechanical properties of steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete, [online]. China. 2013-02, [cit. 2016-10-05], 6 s. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0950061812006782>
- [43] GUNEYISI, Erhan. GESOGLU Mehmet. Fracture behavior and mechanical properties of concrete with artificial lightweight aggregate and steel fiber, [online]. Turkey. 2015-06, [cit. 2016-10-05], 13 s. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0950061815003013>
- [44] Reklamní materiály firmy Krampe Harex (Fatek)
- [45] KUCHARCZYKOVÁ, B. Stavební látky – přednášky. Brno: 2016.
- [46] ZACH, J. Kamenivo Liaopor pod základy energeticky úsporných rodinných domů. [online]. 2013-18-12, [cit. 2016-17-05] Dostupné z: <http://www.tzbportal.sk/stavebnictvo/kamenivo-liapor-pod-zaklady-energeticky-uspornych-rodinnych-domu.html>
- [47] Dům jedním tahem. Technologie a výstavba montovaných domů [online]. Vintířov. [cit. 2016-04-30]. Dostupné z: <http://www.dumjednimtahem.cz/cz/technologie-vystavba>

10 SEZNAM PŘÍLOH, OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

10.1 Seznam příloh

Příloha 1: Technický list – Liapor - keramické kamenivo pro stavební účely

Příloha 2: Technický list – CEM I 42,5 R Portlandský cement, Mokrý

Příloha 3: Technický list – Data sheet – krampeharex – Steel fibres

Příloha 4: Technický list – Sika ViscoCrete 1035

10.2 Obsah obrázků

OBRÁZEK 1 ZÁVISLOST VODNÍHO SOUČiniteLE NA PEVNOST BETONU V TLAKU [39]...	16
OBRÁZEK 2 PRŮBĚH PEVNOSTI V TLAKU V ZÁVISLOSTI NA SYPNÉ HMOTNOSTI [2].....	22
OBRÁZEK 3 PRŮBĚH SOUČiniteLE TEPELNÉ VODIVOSTI V ZÁVISLOSTI NA SYPNÉ HMOTNOSTI [2]	23
OBRÁZEK 4 OCELOVÉ VLÁKNO FIRMY KRAMPEHAREX [44].....	31
OBRÁZEK 5 TVAROVÁNÍ OCELOVÝCH DRÁTKŮ [17].....	32
OBRÁZEK 6 SROVNÁNÍ PRACOVNÍCH DIAGRAMŮ DLE TVARU VLÁKEN [6]	32
OBRÁZEK 7 PŮSOBENÍ DRÁTKŮ V TRHLINĚ	33
OBRÁZEK 8 PORUŠENÍ PROSTÉHO BETONU – KŘEHKÝ LOM [11]	34
OBRÁZEK 9 PRACOVNÍ DIAGRAM DRÁTKOBETONU V TAHU [1].....	34
OBRÁZEK 10 BETON VYŠŠÍCH TŘÍD – PŘETRŽENÍ VLÁKNA [11]	35
OBRÁZEK 11 PRACOVNÍ DIAGRAM V ZÁVISLOSTI NA MNOŽSTVÍ VLÁKEN A DOBĚ MÍCHÁNÍ [4].....	35
OBRÁZEK 12 PRACOVNÍ DIAGRAM DRÁTKOBETONU V TLAKU [1]	36
OBRÁZEK 13 VYROVNÁNÍ HODNOTY SMRŠTĚNÍ DÁVKY 0 KG A 40 KG DRÁTKŮ NA 1 M ³ BETONU [14]	36
OBRÁZEK 14 SHLUK VLÁKEN (JEŽEK) V ČERSTVÉM BETONU [20].....	38
OBRÁZEK 15 KOMBINACE VYLEHČENÍ – LIAPOR A PĚNOTVORNÁ PŘÍSADA [5].....	40
OBRÁZEK 16 LEHKÝ MEZEROVITÝ BETON [5]	42
OBRÁZEK 17 LEHKÝ BETON S HUTNOU STRUKTUROU A PÓROVITÝM KAMENIVEM [5]..	43

OBRÁZEK 18 MEZNÍ PODÍLY HUTNÉHO A MEZEROVITÉHO LEHKÉHO BETONU [5]	43
OBRÁZEK 19 PĚNOBETON (VLEVO) PLYNOBETON (VPRAVO)	44
OBRÁZEK 20 ZÁVISLOST OBJEMOVÉ HMOTNOSTI NA PEVNOSTNÍ TŘÍDĚ A MODULU PRUŽNOSTI [3].....	45
OBRÁZEK 21 FREKVENCE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ PEVNOSTÍ V TLAKU [36].....	46
OBRÁZEK 22 PŘEHUTNĚNÝ NEBO CHYBNĚ NAVRŽENÝ LEHKÝ BETON	48
OBRÁZEK 23 SOUČINITEL TEPELNÉ VODIVOSTI V ZÁVISLOSTI NA OBJEMOVÉ HMOTNOSTI [45].....	50
OBRÁZEK 24 KONSTRUKČNÍ DETAIL – KLASICKY VYZTUŽENÁ DESKA NA PODSYPU Z LIAPORU (VLEVO), SIMULACE TEPLOTNÍCH POLÍ (VPRAVO) [46].....	53
OBRÁZEK 25 ZÁVISLOST VYZTUŽENÍ NA PEVNOSTI V TLAKU [43].....	53
OBRÁZEK 26 ZÁVISLOST VYZTUŽENÍ NA PEVNOSTI V PROSTÉM TAHU [43].....	54
OBRÁZEK 27 ZÁVISLOST VYZTUŽENÍ NA PEVNOSTI V TAHU ZA OHYBU [43]	54
OBRÁZEK 28 STÁVAJÍCÍ PREFABRIKOVANÁ VÝSTAVBA STĚNOVÝCH PRVKŮ [47]	55
OBRÁZEK 29 SCHÉMA SEDNUTÍ KUŽELE [17]	61
OBRÁZEK 30 SCHÉMA ZKOUŠKY PEVNOSTI V TLAKU [17].....	62
OBRÁZEK 31 SCHÉMA ZKOUŠKY PEVNOSTI TAHU ZA OHYBU [17].....	62
OBRÁZEK 32 USPOŘÁDÁNÍ ZKOUŠKY [30]	63
OBRÁZEK 33 POLOHA MAKROTRHLINY [30]	63
OBRÁZEK 34 PRŮMĚRNÝ A CHARAKTERISTICKÝ VÝKONOVÝ DIAGRAM [30]	64
OBRÁZEK 35 USPOŘÁDÁNÍ ZKOUŠKY	69
OBRÁZEK 36 POLOHA MAKROTRHLINY	69
OBRÁZEK 37 SNÍMKY Z TOMOGRAFU (ZPŘEDU, ZE ZADU, SHORA A ŘEZ)	71

10.3 Obsah tabulek

TABULKA 1: HODNOTY NASÁKAVOSTI V ZÁVISLOSTI NA ČASE [2].....	23
TABULKA 2: CHEMICKÉ SLOŽENÍ LIAPORU [2]	24
TABULKA 3: PŘEHLED VLASTNOSTÍ JEDNOTLIVÝCH VLÁKEN.....	27
TABULKA 4: PEVNOSTNÍ TŘÍDY VLÁKNOBETONU V TLAKU [35]	29
TABULKA 5: PEVNOSTNÍ TŘÍDY VLÁKNOBETONU V DOSTŘEDNÉM TAHU [35].....	30
TABULKA 6: REZIDUÁLNÍ PEVNOSTNÍ TŘÍDY [35].....	30
TABULKA 7: PEVNOSTNÍ TŘÍDY LEHKÉHO BETONU [31]	41

TABULKA 8: TŘÍDY LEHKÉHO BETONU DLE OBJEMOVÉ HMOTNOSTI [31]	41
TABULKA 9 SLOŽENÍ RECEPTUR	59
TABULKA 10 ZATŘÍDĚNÍ KONZISTENCE DLE SEDNUTÍ	61
TABULKA 11 SOUHRNNÉ VÝSLEDKY VŠECH RECEPTUR	72

10.4 Obsah grafů

GRAF 1 VLIV PŘÍDAVKU OCELOVÝCH VLÁKEN NA STUPEŇ SEDNUTÍ - KONZISTENCI.....	65
GRAF 2 VLIV PŘÍDAVKU OCELOVÝCH VLÁKEN NA DÁVKU VODY.....	65
GRAF 3 VLIV PŘÍDAVKU OCELOVÝCH VLÁKEN NA OBJEMOVOU HMOTNOST ČERSTVÉHO BETONU	66
GRAF 4 VLIV PŘÍDAVKU OCELOVÝCH VLÁKEN NA OBJEMOVOU HMOTNOST ZTVRDLÉHO BETONU	66
GRAF 5 VLIV PŘÍDAVKU OCELOVÝCH VLÁKEN NA PEVNOSTI V TLAKU	67
GRAF 6 VLIV PŘÍDAVKU OCELOVÝCH VLÁKEN NA PEVNOSTI V TAHU ZA OHYBU	67
GRAF 7 VÝKONOVÝ DIAGRAM NA TRÁMCI Č. 1 700×150×150.....	68
GRAF 8 VÝKONOVÝ DIAGRAM NA TRÁMCI Č. 2 700×150×150.....	68
GRAF 9 VÝKONOVÝ DIAGRAM NA TRÁMCI Č. 1 700 × 150 × 150	70
GRAF 10 VÝKONOVÝ DIAGRAM NA TRÁMCI Č. 2 700 × 150 × 150.....	70

CEM I 42,5 R

Portlandský cement

EN 197-1

Výrobní závod: **Mokrá**
 Výrobce: **Českomoravský cement, a.s.**

Technický list

Vlastnost		Průměrná hodnota	Jednotka	Metoda / poznámka
Mechanické vlastnosti				
pevnost v tlaku	1 den	17	[MPa]	EN 196-1
	2 dny	29	[MPa]	EN 196-1
	7 dní	51	[MPa]	EN 196-1
	28 dní	61	[MPa]	EN 196-1
	56 dní	66	[MPa]	EN 196-1
	90 dní	67	[MPa]	EN 196-1
pevnost v tahu za ohybu	1 den	4	[MPa]	EN 196-1
	2 dny	6	[MPa]	EN 196-1
	7 dní	8	[MPa]	EN 196-1
	28 dní	9	[MPa]	EN 196-1
	56 dní	9	[MPa]	EN 196-1
	90 dní	9	[MPa]	EN 196-1
Fyzikální vlastnosti				
normální konzistence		28,0	[%]	EN 196-3
počátek tuhnutí		188	[min]	EN 196-3
konec tuhnutí		257	[min]	EN 196-3
objemová stálost		1,0	[mm]	EN 196-3, Le Chatelier
měrný povrch		375	[m ² .kg ⁻¹]	EN 196-6, permeabilní metoda (Blaine)
střední zmo d(0,5)		20	[μm]	laserový granulometr
zbytek na síti	20 μm	39,8	[%]	laserový granulometr
	45 μm	8,9	[%]	laserový granulometr
	90 μm	0,2	[%]	laserový granulometr
	125 μm	0,0	[%]	laserový granulometr
	200 μm	0,0	[%]	laserový granulometr
	250 μm	0,0	[%]	laserový granulometr
měrná hmotnost		3110	[kg.m ⁻³]	ČSN EN 196-6
sypaná hmotnost	v cisterně	980	[kg.m ⁻³]	Přibližná hodnota při ložení cementu do autocisterny.
	v síle	1200-1600	[kg.m ⁻³]	Odhad při uskladnění v síle. Sypaná hmotnost se mění v závislosti na míře setřesení výrobku, době uskladnění nebo velikosti a zaplnění síla.
barevnost	L*	60	-	Kolorimetrické měření v barevném prostoru CIELAB na cementu v práškové formě. Zdroj osvětlení D65 / 10°.
	a*	0	-	
	b*	9	-	
hydratační teplo	7 dní	300	[J.g ⁻¹]	EN 196-8

Hodnoty uvedené v technickém listě 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 totožných zkušebních postupů. V případě pochybností nás neváhejte kontaktovat.

Českomoravský cement, a.s.
 Technická podpora prodeje
 technicka.podpora@cmcem.cz

www.cmcem.cz

**ČESKOMORAVSKÝ
 CEMENT**
 HEIDELBERGCEMENT Group

CEM I 42,5 R

Portlandský cement

EN 197-1

Výrobní závod: Mokrá
Výrobce: Českomoravský cement, a.s.

Technický list

Vlastnost	Průměrná hodnota	Jednotka	Metoda / poznámka	
Chemické vlastnosti				
obsah	CaO	65	[%]	EN 196-2, XRF
	SiO ₂	19	[%]	EN 196-2, XRF
	Al ₂ O ₃	5	[%]	EN 196-2, XRF
	Fe ₂ O ₃	3	[%]	EN 196-2, XRF
	MgO	1	[%]	EN 196-2, XRF
	SO ₃	3,0	[%]	EN 196-2, XRF
	S ^{II-}	0,04	[%]	EN 196-2
	Cl ⁻	0,038	[%]	EN 196-2, XRF
	K ₂ O	0,82	[%]	EN 196-2, XRF
	Na ₂ O	0,12	[%]	EN 196-2, XRF
	Na ₂ O ekvivalent	0,66	[%]	EN 196-2, XRF, (Na ₂ O + 0,658.K ₂ O)
nerozpustný zbytek	0,7	[%]	EN 196-2	
ztráta žíháním	3,1	[%]	EN 196-2	
Složení				
obsah slínku	90	[%]	Z hmotnosti konečného cementu, tj. včetně obsahu síranu vápenatého a případných přísad.	
Složení slínku				
obsah	MgO	1,4	[%]	XRF
	C ₃ S	67	[%]	XRF, C ₃ S = 4,071.CaO - 1,4297.Fe ₂ O ₃ - 6,7187.Al ₂ O ₃ - 7,6024.SiO ₂
	C ₂ S	11	[%]	XRF, C ₂ S = - 3,071.CaO + 1,0785.Fe ₂ O ₃ + 5,0683.Al ₂ O ₃ + 8,6024.SiO ₂
	C ₃ A	7	[%]	XRF, C ₃ A = - 1,692.Fe ₂ O ₃ + 2,6504.Al ₂ O ₃
	C ₄ AF	11	[%]	XRF, C ₄ AF = 3,043.Fe ₂ O ₃

V případě, že je cement dodáván redukovaný, 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⁺ pod 0,0002 % a je účinné nejméně po dobu skladování cementu, po kterou musí být cement chráněn před působením vody a vysoké relativní vlhkosti vzduchu (nejvýše 75 %). Za těchto podmínek je redukční činidlo účinné 90 dnů od data uvedeného na obalu (balený cement) nebo od data expedice (volně ložený cement).














Hodnoty uvedené v technickém listě 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 totožných zkušebních postupů. V případě pochybností nás neváhejte kontaktovat.

Českomoravský cement, a.s.
Technická podpora prodeje
technicka.podpora@cmcem.cz

www.cmcem.cz

**ČESKOMORAVSKÝ
CEMENT**
HEIDELBERGCEMENT Group



Bezeichnung Name	Länge Length (mm)	Durchmesser Diameter (mm)	Querschnitt Cross section	Form Shape	Material Material	Werkstoff-Nr. Material-No.	Zugfestigkeit Tensile strength (N/mm ²)
DE 60/1,0 N DE 60/1,0 M DE 60/1,0 H	60 ± 10%	1,00 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1100 ± 15% 1400 ± 15% 2400 ± 15%
DE 60/0,8 N DE 60/0,8 M DE 60/0,8 H	60 ± 10%	0,80 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1200 ± 15% 1550 ± 15% 2400 ± 15%
DE 60/0,9 N DE 60/0,9 M DE 60/0,9 H	60 ± 10%	0,90 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1150 ± 15% 1550 ± 15% 2400 ± 15%
DE 50/1,0 N DE 50/1,0 M DE 50/1,0 H	50 ± 10%	1,00 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1100 ± 15% 1400 ± 15% 2400 ± 15%
DE 50/0,8 N DE 50/0,8 M DE 50/0,8 H	50 ± 10%	0,80 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1200 ± 15% 1550 ± 15% 2400 ± 15%
DE 50/0,6 N DE 50/0,6 M DE 50/0,6 H	50 ± 10%	0,60 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1250 ± 15% 1550 ± 15% 2400 ± 15%
DE 45/1,0 N DE 45/1,0 M DE 45/1,0 H	45 ± 10%	1,00 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1100 ± 15% 1400 ± 15% 2400 ± 15%
DE 45/0,8 N DE 45/0,8 M DE 45/0,8 H	45 ± 10%	0,80 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1200 ± 15% 1550 ± 15% 2400 ± 15%
DE 35/0,8 N DE 35/0,8 M DE 35/0,8 H	35 ± 10%	0,80 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1200 ± 15% 1550 ± 15% 2400 ± 15%
DE 35/0,6 N DE 35/0,6 M DE 35/0,6 H	35 ± 10%	0,60 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1250 ± 15% 1550 ± 15% 2400 ± 15%
DE 35/0,5 N DE 35/0,5 M DE 35/0,5 H	35 ± 10%	0,50 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1250 ± 15% 1550 ± 15% 2400 ± 15%
DE 30/0,8 N DE 30/0,8 M DE 30/0,8 H	30 ± 10%	0,80 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1200 ± 15% 1550 ± 15% 2400 ± 15%
DE 30/0,6 N DE 30/0,6 M DE 30/0,6 H	30 ± 10%	0,60 ± 10%	rund round		C7D C18D C76D	1.0313 1.0416 1.0614	1250 ± 15% 1550 ± 15% 2400 ± 15%

KrampeHarex® GmbH & Co. KG · Pferdecamp 6-8 · 59075 Hamm · Germany
Phone +49 (0)23 81 · 977 977 · Fax +49 (0) 23 81 · 977 955 · www.krampeharex.com · info@krampeharex.com

KrampeHarex® CZ spol. s.r.o. · Osvobocení 234 · 664 81 Ostrovačice · Czech Republic
Phone +42 (0) 549 · 245 064 · Fax +42 (0) 0549 · 245 065 · www.krampeharex.cz · info@krampeharex.cz

KrampeHarex® Fibrin Gesellschaft mbH & Co. KG · Lindengasse 20 · 4040 Linz · Austria
Phone +43 (0) 732 731 011 · Fax +43 (0) 732 · 731 011 73 · www.krampefibrin.com · info@krampefibrin.com

Technický list

Datum vydání 06/2014

Identifikační č.:

02 13 01 01 100 0 001339

Verze č. 01

Sika® ViscoCrete®-1035 / CZ

Sika® ViscoCrete®-1035 / CZ

Univerzální a vysoce účinný superplastifikátor pro transportbetony

Popis výrobku	Sika® ViscoCrete®-1035 / CZ je univerzální, velmi účinný univerzální superplastifikátor pro transportbetony – nižších i vyšších pevnostních tříd.
Použití	Sika® ViscoCrete®-1035 / CZ je vhodný především pro: <ul style="list-style-type: none"> ■ transportbeton stupně konzistence F4 až F6 ■ samozhutitelné betony (SCC) ■ transportbeton s nízkou ztrátou konzistence ■ transportbeton s dlouhou dobou dopravy nebo zpracování ■ transportbeton s nízkým vodním součinitelem ■ vysoce pevnostní a hutné betony
Výhody	Sika® ViscoCrete®-1035 / CZ je vyráběn na bázi polymeru, který byl vyvinut speciálně pro výrobu transportbetonu. <ul style="list-style-type: none"> ■ prostorové rozptýlení jemných podílů ■ zlepšuje dispergaci a smáčení zrn cementu ■ snižuje třecí síly mezi zrny cementu a kameniva ■ snižuje potřebu záměsové vody ■ má prodlouženou dobu účinnosti U transportbetonu Sika® ViscoCrete®-1035 / CZ umožňuje: <ul style="list-style-type: none"> ■ snížení vodního součinitele a tím zvýšení hutnosti a pevnosti ■ měkkou konzistenci a tím značné snížení nákladů na zpracování a zhutňování ■ při pomalejší ztrátě konzistence dosáhnout delší doby zpracovatelnosti při vyšších teplotách betonu
Zkušební zprávy	
Testy	Vydáno Prohlášení o vlastnostech č. 02 13 01 01 100 0 001339 1029, certifikováno Oznameným subjektem č. 1139, certifikát 0031/03. Splňuje požadavky dle EN 934-2. Splňuje požadavky EN 934-2: přísady do betonu
Údaje o výrobku	
Barva	Nahnědlá kapalina.



Balení	<p>Sika® ViscoCrete® -1035 CZ: Kanystr: 30 kg Sud: 200 kg Kontejner: 1000 kg Další balení na vyžádání.</p> <p>Sika® ViscoCrete® -1035: Kanystr: 30 kg Sud: 200 kg Kontejner: 1000 kg Další balení na vyžádání.</p>
Skladování	
Podmínky skladování / Trvanlivost	<p>12 měsíců od data výroby pouze v originálních, neotevřených, nepoškozených obalech. Chraňte před přímým slunečním zářením a mrazem. Kontejnery musí být před dalším plněním důkladně vypláchnuty.</p> <p>Otevřená balení spotřebujte co nejdříve.</p>
Technické údaje	
Chemická báze	Polykarboxylát éter.
Objemová hmotnost	~ 1,07 kg/l (při +20 °C)
Hodnota pH	<p>Sika® ViscoCrete® -1035: ~ 4,0 ± 0,5</p> <p>Sika® ViscoCrete® -1035 CZ: ~ 6,5 ± 0,5</p>
Obsah chloridových iontů	≤ 0,10 %
Obsah alkálií (Na₂O)	≤ 1,0 %
Aplikační podrobnosti	
Dávkování	0,2 – 1,7 % na hmotnost cementu
Důležitá upozornění	<p>Sika® ViscoCrete® -1035 / CZ doporučujeme přidávat současně se záměsovou vodou a zamíchat do betonu před přidáním případných dalších přísad.</p> <p>Pro optimální využití značného snížení množství vody doporučujeme minimální dobu míchání 45 vteřin.</p> <p>Jemné dávkování vody doporučujeme spustit po uplynutí 2/3 doby míchání, aby se zamezilo jejímu přebytku v betonu.</p> <p>Při eventuálním dalším dávkování na staveništi doporučujeme použít stejný superplastifikátor jako na betonárně.</p> <p>Při dodatečném dávkování do mixu musí být zajištěno stejnoměrné rozmíchání superplastifikátoru v betonu, proto doporučujeme dobu míchání 1 minutu na každý m³ betonu, nejméně však 5 minut.</p> <p>Před prvním použitím je třeba provést průkazní zkoušky podle platných norem.</p>
Platnost hodnot	<p>Hodnoty a data uvedená v tomto technickém listu jsou založena na výsledcích laboratorních testů. Tyto hodnoty se mohou při aplikaci v praxi lišit, což je mimo naši kontrolu.</p> <p>Detailní informace o zdravotní závadnosti a bezpečnosti práce jsou spolu s bezpečnostními informacemi (např. fyzikálními, toxikologickými a ekologickými daty) uvedeny v bezpečnostním listu.</p> <p>Aktuální technické a bezpečnostní listy, Prohlášení o shodě, Certifikáty najdete na internetové adrese www.sika.cz.</p>