

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2018

Matěj Lyer

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Konstrukční lehké betony s důrazem na použitý druh kameniva

Matěj Lyer

Bakalářská práce

2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Matěj Lyer**
Osobní číslo: **D13265**
Studijní program: **B3607 Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Dopravní stavitelství**
Název tématu: **Konstrukční lehké betony s důrazem na použitý druh kameniva**
Zadávající katedra: **Katedra dopravního stavitelství**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

V problematice konstrukčních lehkých betonů je požadováno zpracovat rešerši stávající míry poznání v ČR a v zahraničí, navrhnout recepturu tohoto speciálního betonu a následně realizovat experimentální zkoušky na zhotovených zkušebních tělesech. Požaduje se využít různé druhy kameniva.

Požadované výstupy:

Úvod

1) Teoretická část

Analýza současného stavu poznání

Návrh vlastní receptury

2) Experimentální část

Výroba čerstvého betonu

Zkoušení čerstvého betonu (stanovení konzistence, obsah vzduchu, objemová hmotnost)

Zpracování čerstvého betonu

Zkoušení ztvrdlého betonu (krychelná pevnost, pevnost v tahu ohybem, objemová hmotnost)

Vyhodnocení dosažených výsledků

Verifikace a závěr

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

ACI Manual of Concrete Practice 2005, Part 1, Guide for Structural Lightweight Aggregates-ACI 213R-03, 2005.

ČSN EN 12 350. Zkoušení čerstvého betonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

ČSN EN 12 390. Zkoušení ztvrdlého betonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.

ČSN EN 206. Beton: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

ČSN P 73 2404. Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplnující informace. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.

HOFF, G. C., WAMM, R., WENG, I. K., NUNEZ, R. E., Use of structural light-weight Aggregates in Off-Shore Concrete Platforms International Symposium on Structural Lightweight Aggregates; Editors: I. Holand, T. A. Ammerand F. Fluge, Sanderfjord, Norway, 1989.

PYTLÍK, Petr. Technologie betonu. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000, 390 s. ISBN 80-214-1647-5.

TKP staveb pozemních komunikací: Kapitola 18: Betonové konstrukce a mosty. Praha: Ministerstvo dopravy, 2016.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladimír Suchánek

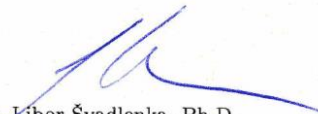
Katedra dopravního stavitelství

Datum zadání bakalářské práce:

20. prosince 2016

Termín odevzdání bakalářské práce:

26. května 2017


doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

L.S.


doc. Ing. Vladimír Doležel, CSc.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 3. ledna 2017

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst.1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

Tato bakalářská práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne 17. 5. 2018

Matěj Lyer

Poděkování:

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce, panu Ing. Vladimíru Suchánkovi, za odborné vedení mé práce, cenné rady a pomoc při provádění prací v laboratoři. Dále bych rád poděkoval Univerzitě Pardubice za poskytnutý prostor a vybavení na provedení zkoušek. Velké díky také patří všem dodavatelům za poskytnutý materiál pro experiment. A v neposlední řadě bych chtěl poděkovat všem blízkým a své rodině za podporu nejen při tvorbě této práce, ale i během celého mého studia.

Práce byla zpracována v souvislosti s řešením vědeckovýzkumného projektu Univerzity Pardubice č. SGS_2018_023.

V Pardubicích dne 17. 5. 2018

Matěj Lyer

ANOTACE

Tato práce je věnována výrobě, zpracování a zkoušení lehkých betonů se zaměřením na vliv použitého druhu lehkého kameniva na vlastnosti betonu v čerstvém i ztvrdlém stavu. Porovnává se zde vliv kameniva Rugen a kameniva Agloporit. Práce shrnuje dosavadní poznatky vztahující se k lehkým betonům a trvanlivosti betonu, zejména požární odolnosti betonu. V druhé části práce obsahuje návrh receptury, výrobu a zkoušení lehkého betonu. Zkoušení bylo dále zaměřeno na autorem zvolenou zkoušku požární odolnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lehký beton, lehké kamenivo, trvanlivost betonu, požární odolnost betonu, experimentální analýza

TITLE

Constructional lightweight concrete with an emphasis on the types of used aggregates

ANNOTATION

This thesis is dedicated to the production, processing and testing of lightweight concrete with a focus on the influence of used lightweight aggregate on the qualities of the fresh and hardened concrete. The influence of the Rugen aggregate and Agloporit aggregate is being compared here. The work summarizes the existing knowledge about lightweight concrete and durability of concrete, especially the fire resistance of concrete. The second part of the thesis contains recipe design, production and lightweight concrete testing. The testing was mainly focused on the fire resistance test.

KEYWORDS

Lightweight concrete, lightweight aggregates, durability of concrete, fire resistance of concrete, experimental analysis

OBSAH

ÚVOD	14
TEORETICKÁ ČÁST	15
1 HISTORIE	15
2 POJEM LEHKÝ BETON	16
3 STAV V ČR A V ZAHRANIČÍ	17
4 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI LEHKÝCH BETONŮ	18
4.1 Pevnost v tlaku	18
4.2 Objemová hmotnost	19
5 SLOŽENÍ	20
5.1 Kamenivo	20
5.1.1 Funkce kameniva	20
5.1.2 Přírodní pórovité kamenivo	20
5.1.3 Umělé pórovité kamenivo vyráběné z průmyslových odpadů	21
5.1.4 Umělé pórovité kamenivo vyráběné z přírodních látek	23
5.2 Cement	25
5.3 Voda	25
5.4 Přísady a příměsi	25
6 TRVANLIVOST BETONU	27
6.1 Fyzikální vlivy na trvanlivost	27
6.1.1 Mrazuvzdornost betonu	27
6.1.2 Obrusnost betonu	29
6.1.3 Požární odolnost betonu	29
6.2 Chemická koroze betonu	31
6.2.1 Vápenné rozpínání	31
6.2.2 Karbonatace betonu	31
6.2.3 Výkvěty	31

6.2.4	Biologická koroze betonu	31
	PŘEDPOKLÁDANÉ CÍLE	32
	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	33
7	NÁVRH RECEPTURY	33
7.1	Stanovení sypné hmotnosti kameniva	34
7.2	Stanovení objemové hmotnosti zrn kameniva	36
7.3	Stanovení vlhkosti kameniva	39
7.4	Stanovení zrnitosti kameniva	40
7.5	Návrh receptury – výpočet	45
7.6	Míchání čerstvého betonu	53
7.6.1	Záměs č. 0	53
7.6.2	Záměs č. 1	53
7.6.3	Záměs č. 2 a 3	54
7.6.4	Záměs č. 4	55
7.6.5	Záměs č. 5 a 6	55
7.6.6	Záměs č. 7	55
7.6.7	Záměs č. 8	57
7.6.8	Záměs č. 9, 10 a 11	57
8	ZKOUŠENÍ ČERSTVÉHO BETONU	59
8.1	Zkouška sednutím	59
8.2	Obsah vzduchu	61
8.3	Objemová hmotnost čerstvého betonu	62
9	ZKOUŠENÍ ZTVRDLÉHO BETONU	64
9.1	Objemová hmotnost ztvrdlého betonu	64
9.2	Pevnost betonu v tlaku	66
9.3	Pevnost betonu v tahu za ohybu	68
9.4	Požární odolnost betonu	70

9.4.1	Fotodokumentace zkušebních vzorků po zatížení teplotou 680 °C.....	74
10	POUŽITÉ PŘÍSTROJE	77
10.1	Váhy KERN EW600-2M, KERN DE 60 K 20 a MATEST V073-01	77
10.2	Sušička BTM VENTICELL	77
10.3	Prosévací stroj RETSCH AS200 basic.....	77
10.4	Přenosný teploměr RDXL4SD	77
10.5	Pec BVD 800/K.....	77
10.6	Zatěžovací lis pro stanovení pevnosti v tlaku.....	77
10.7	Zatěžovací rám pro stanovení pevnosti v tahu ohybem	77
10.8	Míchačka s nuceným oběhem	78
11	ZÁVĚR	79
12	ZDROJE.....	82
	DOKLADOVÁ ČÁST.....	86

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Třídy pevností lehkého betonu v tlaku [N1].....	18
Tabulka 2 – Třídy objemové hmotnosti lehkého betonu [N1].....	19
Tabulka 3 – Požární scénáře	30
Tabulka 4 – Nejmenší objem nádoby v závislosti na zrnění kameniva [N4]	35
Tabulka 5 – Sypná hmotnost kameniva	35
Tabulka 6 – Nejmenší hmotnost dílčích navážek [N5].....	37
Tabulka 7 – Objemová hmotnost písku frakce 0/4	37
Tabulka 8 – Zdánlivá objemová hmotnost zrn kameniva	38
Tabulka 9 – Vlhkost kameniva	39
Tabulka 10 – Stanovení zrnitosti písku.....	41
Tabulka 11 – Stanovení zrnitosti Rugenu 4/8.....	42
Tabulka 12 – Stanovení zrnitosti Rugenu 8/16.....	43
Tabulka 13 – Stanovení zrnitosti Agloporitu 4/8.....	44
Tabulka 14 – Stanovení zrnitosti Agloporitu 8/16.....	45
Tabulka 15 – Návrh složení receptury s kamenivem Rugen	51
Tabulka 16 – Návrh složení receptury s kamenivem Agloporit	51
Tabulka 17 – Zkušební tělesa	51
Tabulka 18 – Složení záměsí č. 0	53
Tabulka 19 – Složení záměsí č. 1	53
Tabulka 20 – Složení záměsí č. 2 a 3.....	54
Tabulka 21 – Vlhkost nasyceného kameniva Rugen	54
Tabulka 22 – Složení záměsí č. 4	55
Tabulka 23 – Složení záměsí č. 5 a 6.....	55
Tabulka 24 – Složení záměsí č. 7	56
Tabulka 25 – Vlhkost nasyceného kameniva Agloporit.....	56
Tabulka 26 – Složení záměsí č. 8	57
Tabulka 27 – Složení záměsí č. 9, 10 a 11	57
Tabulka 28 – Vlhkost písku do záměsí č. 9, 10 a 11	58
Tabulka 29 – Klasifikace konzistence podle sednutí kužele [N1].....	59
Tabulka 30 – Výsledky stanovení konzistence betonu sednutím kužele.....	59
Tabulka 31 – Výsledky stanovení obsahu vzduchu.....	61
Tabulka 32 – Výsledky stanovení objemové hmotnosti.....	62
Tabulka 33 – Stanovení objemové hmotnosti vysušeného ztvrdlého betonu.....	64

Tabulka 34 – Stanovení objemové hmotnosti betonu s kamenivem Rugen po ukončení ošetřování.....	65
Tabulka 35 – Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu s kamenivem Agloporit po ukončení ošetřování	66
Tabulka 36 – Krychelná pevnost v tlaku	67
Tabulka 37 – Pevnost betonu v tahu ohybem	69
Tabulka 38 – Vlhkost při ukončení ošetřování	70
Tabulka 39 – Vlhkost při provedení zkoušky požární odolnosti	70
Tabulka 40 – Zbytková pevnost v tlaku krychlí o délce hrany 150 mm	72
Tabulka 41 – Zbytková pevnost v tlaku krychlí o délce hrany 100 mm	72

Seznam grafů

Graf 1 – Požární scénáře [17]	30
Graf 2 – Stanovená křivka zrnitosti písku 0/4	41
Graf 3 – Stanovená křivka zrnitosti Rugen 4/8.....	42
Graf 4 – Stanovená křivka zrnitosti Rugen 8/16.....	43
Graf 5 – Stanovená křivka zrnitosti Agloporit 4/8	44
Graf 6 – Stanovená křivka zrnitosti Agloporit 8/16	45
Graf 7 – Navržená křivka zrnitosti pro 1. recepturu (horní a dolní mez viz [N11]).....	48
Graf 8 – Navržená křivka zrnitosti pro 2. recepturu (horní a dolní mez viz [N11]).....	50
Graf 9 – Zkouška sednutím.....	60
Graf 10 – Zkouška obsahu vzduchu	61
Graf 11 – Objemová hmotnost čerstvého betonu	63
Graf 12 – Krychelná pevnost v tlaku	67
Graf 13 – Pevnost betonu v tahu ohybem.....	69
Graf 14 – Zatěžovací teplotní křivky	71
Graf 15 – Křivka ochlazení.....	71
Graf 16 – Porovnání pevností v tlaku	73
Graf 17 – Procentuální porovnání pevností v tlaku	73

Seznam obrázků

Obrázek 1 – kamenivo Agloporit [11]	22
Obrázek 2 – kamenivo Rugen [13]	22
Obrázek 3 – kamenivo Liapor [8]	23
Obrázek 4 – Zkouška stanovení sypné hmotnosti [vlastní foto]	35
Obrázek 5 – Zkouška stanovení zdánlivé objemové hmotnosti zrn [vlastní foto]	38
Obrázek 6 – Zkouška stanovení vlhkosti kameniva [vlastní foto]	40
Obrázek 7 – Vyhodnocení zkoušky sednutím [vlastní foto]	60
Obrázek 8 – Plnění Abramsova kužele [vlastní foto]	60
Obrázek 9 – Zkouška obsahu vzduchu [vlastní foto]	62
Obrázek 10 – Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu [vlastní foto]	63
Obrázek 11 – Zkoušení betonu (pevnost v tlaku) [vlastní foto]	68
Obrázek 12 – Uspořádání zkušební tělesa v zatěžovacím lisu [N17]	69
Obrázek 13 – Zkoušení betonu (pevnost v tahu ohybem) [vlastní foto]	70
Obrázek 14 – Zkušební těleso 1.1.1 [vlastní foto]	74
Obrázek 15 – Zkušební těleso 1.2.1 [vlastní foto]	74
Obrázek 16 – Zkušební těleso 2.3.1 [vlastní foto]	74
Obrázek 17 – Zkušební těleso 2.2.1 [vlastní foto]	74
Obrázek 18 – Zkušební těleso 2.1.1 [vlastní foto]	74
Obrázek 19 – Zkušební těleso 1.4.1 [vlastní foto]	74
Obrázek 20 – Zkušební těleso 1.2.4 [vlastní foto]	75
Obrázek 21 – Zkušební těleso 1.1.4 [vlastní foto]	75
Obrázek 22 – Zkušební těleso 1.4.4 [vlastní foto]	75
Obrázek 23 – Zkušební těleso 2.1.4 [vlastní foto]	75
Obrázek 24 – Zkušební těleso 2.2.4 [vlastní foto]	75
Obrázek 25 – Zkušební těleso 2.3.4 [vlastní foto]	75
Obrázek 26 – Struktura betonu s kamenivem Rugen [vlastní foto]	76
Obrázek 27 – Struktura betonu s kamenivem Agloporit [vlastní foto]	76

ÚVOD

Beton je jedním ze základních stavebních materiálů. Již ve starověku začali římské, egyptské, feničtí a řečtí stavitelé používat stavební hmotu, která svým charakterem odpovídá dnešnímu betonu. Dnes se bez něho neobejde téměř žádná stavba. Za dlouhou dobu jeho používání prošel beton značným vývojem. Snaha vyrobit beton s co nejideálnějšími vlastnostmi pro dané použití vedla k vývoji speciálních betonů.

Jedním ze speciálních betonů je lehký beton. Lehký beton lze použít jako beton konstrukční a díky jeho velmi dobrým tepelně izolačním vlastnostem jako konstrukčně-tepelně izolační, nebo jako tepelně izolační. Výhoda konstrukčního lehkého betonu spočívá v jeho nízké hmotnosti a zároveň vysoké pevnosti. Vylehčení konstrukčních betonů se provádí pomocí použitého druhu kameniva. Využívá se přírodní kamenivo i lehká umělá kameniva. Lehký beton lze vyrobit i jako lehký samozhutitelný beton, který se využívá zejména k výrobě prefabrikátů a v oblasti rekonstrukcí starých budov. Nízká hmotnost vede k úsporám v oblasti zakládání, bednicí technice, při manipulaci a přepravě. Díky těmto faktorům se stává čím dál více používaný pro nosné konstrukce pozemních i dopravních staveb v ČR.

TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE

Lehké betony se používaly již v antickém období cca 3000 let př. n. l., kdy bylo pro vybudování slavných měst Mohenjo-Daro a Harappa využito lehkého betonu s kamenivem sopečného původu. V Evropě začali s budováním konstrukcí u lehkého betonu Římané před dvěma tisíci lety. Upotřebili lehký beton při výstavbě akvaduktů, slavného Pantheonu i Kolosea v Římě. Rozmanitost vlastností přírodního kameniva byla při výstavbě Pantheonu řešena jeho ručním tříděním dle objemové hmotnosti s ohledem na konečnou objemovou hmotnost betonu. [1]

Z důvodu rostoucí poptávky a malou dostupností přírodních kameniv po celém světě byly vyvinuty technologie pro jejich průmyslovou výrobu. V USA vynalezl Stephen J. Hayde kamenivo zvané „Haydite“, vyrobené technologií expandování břidlic a roku 1918 si jej nechal patentovat. Toto kamenivo je dodnes v USA vyráběno. V Německu započala v letech 1935 až 1939 výroba kameniva na bázi expandovaného jílu. Výroba i použití zde zaznamenalo řadu potíží, a tak lze za zakladatele výroby tohoto typu kameniva považovat Dánsko. Zde byla roku 1939 vybudována továrna poblíž Kalundborgu. Po čase byla výroba přestěhována do Hinge, kde se dodnes vyrábí kamenivo Leca. V Československu byly v roce 1955 a 1964 postaveny dvě továrny na výrobu kameniva v Bratislavě a ve Vintířově. V letech 1967 a 1968 se zde uskutečnily mezinárodní konference o výrobě kameniva na bázi expandovaného jílu. Vzhledem k politické situaci byla po roce 1968 mezinárodní spolupráce ukončena. V Rusku zavedl výzkum výroby umělých kameniv profesor Kostyrko v roce 1930. Kvůli pozastavení jeho práce, z důvodu druhé světové války, byla první rotační pec postavena až v roce 1955 ve Volgogradu. Vyráběné kamenivo neslo název Keramzit a již v roce 1980 se vyráběl ve více než tři sta výrobnách. V roce 1960 se ve Velké Británii začalo kamenivo vyrábět z elektrárenského popílku. Tato technologie se později začala využívat i v Německu a Nizozemí, kde byla v roce 1993 postavena továrna na výrobu umělého kameniva na bázi vápnem pojeného popílku vytvrzeného parou. [1]

Vyztužený lehký beton byl poprvé použit pro stavbu třípodlažních administrativních budov v blízkosti Londýna v roce 1958. Výstavba mostních konstrukcí, přímořských konstrukcí a plovoucích plošin započala s vývojem lehkého vysokopevnostního betonu, který probíhal zejména v Norsku. [1]

2 POJEM LEHKÝ BETON

Pod pojmem lehký beton označovaný zkratkou LC (Light-weight Concrete) chápeme beton, který má po vysušení objemovou hmotnost větší než 800 kg/m^3 a zároveň menší než 2000 kg/m^3 . Podle objemové hmotnosti jej dělíme do šesti tříd LC 1,0 až LC 2,0. Pevnostní třídy těchto betonů jsou v rozmezí od LC 8/9 do LC 80/88. Základní výhody lehkého betonu jsou:

- Díky své nízké hmotnosti je používán v konstrukcích, u kterých je požadována vysoká pevnost konstrukčního materiálu a zároveň nízká hmotnost tohoto prvku.
- Tepelně izolační vlastnosti přímo úměrné s objemovou hmotností LC.
- Nižší koeficient tepelné roztažnosti oproti obyčejnému betonu.
- Přátelský k životnímu prostředí z důvodu výroby umělého kameniva z odpadů průmyslové výroby.
- Snížení nákladů vzhledem k nízké hmotnosti a dlouhé životnosti.
- Velmi lehká opracovatelnost povrchu ztvrdlého betonu.

Mezi lehké betony řadíme betony vylehčené pomocí mezerovitosti kameniva (mezerovité), prostřednictvím pórovitého kameniva (hutné nepřímě lehčené) a pomocí vytvoření pórů při výrobě hmoty (přímě lehčené). Způsob vylehčení je závislý na druhu použití betonu. Mezerovité a přímě lehčené betony se aplikují jako izolační betony a hutné nepřímě lehčené se používají jako konstrukční betony. [1,2]

3 STAV V ČR A V ZAHRANIČÍ

V České republice je lehký beton hojně využívaným stavebním materiálem v pozemním stavitelství. Jeho hlavní uplatnění nalezneme při rekonstrukcích domů, kde potřebujeme vyrovnat, přitom zateplit a nezatížit konstrukci stavby. Většinou se jedná o vodorovné konstrukce např.: podlahy, stropy a konstrukce střech. V tomto případě se jedná o konstrukčně-izolační lehký beton. V dopravním stavitelství se lehký beton používá v nosných konstrukcích mostů, avšak v České republice jen velmi zřídka. Poprvé byl na území ČR využit lehký předepnutý beton na stavbu Dlouhé lávky přes Vltavu v Českých Budějovicích dostavěnou v roce 2002. První aplikací v oblasti silničních mostů u nás, je most přes silnici a potok Tisová na rychlostní silnici R6 mezi Sokolovem a Chebem vybudovaný v roce 2010. Dopravní stavitelství využívá lehký beton převážně v oblastech složitých geologických poměrů, z důvodu jeho malé objemové tíhy a následným nižším dlouhodobým zatížením než u obyčejného betonu. [1,3]

V zahraničí se z lehkého betonu budují pasivní domy, a to nejvíce ve Švýcarsku, Německu a Nizozemí. Prefabrikované dílce z lehkého betonu jsou používány při stavbě sportovních stadionů. V Německu mezi tyto stadiony patří Volkswagen aréna ve Wolfsburgu a Mercedes-Benz Aréna ve Stuttgartu. První jmenovaná aréna byla inspirací při stavbě sportovního stadionu Eden v Praze a multifunkční arény v Karlových Varech. U všech třech staveb byly použity prefabrikované dílce ze samozhutitelného betonu (LWSCC). Lídrem v oblasti aplikace lehkého betonu v dopravním stavitelství jsou v Evropě skandinávské země a ve světě Severní Amerika. V Norsku je na rozdíl od ČR použití lehkého betonu při budování mostů běžné. Již v roce 1998 byla dokončena stavba mostu Raftsundet, který je dokonce vybudovaný technologií letmé betonáže lehkého vysokohodnotného betonu. [1]

4 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI LEHKÝCH BETONŮ

Lehký beton se od běžného betonu liší především objemovou hmotností. Od toho se odvíjí základní vlastnosti tohoto betonu jako je pevnost v tlaku a modul pružnosti.

4.1 Pevnost v tlaku

Pevnost v tlaku rozděluje lehké betony podle tříd pevnosti s označením např.: LC 35/38. První číslo je údaj o pevnosti betonu v tlaku zkoušeném na válci o průměru 150 mm a výšce 300 mm a druhé číslo udává pevnost v tlaku stanovené na krychli o hraně 150 mm, oba údaje jsou v MPa. [5]

Tabulka 1 – Třídy pevností lehkého betonu v tlaku [N1]

Lehký beton		
Třída pevnosti	$f_{Ck,cyl}$ [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 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

$f_{Ck,cyl}$ - minimální charakteristická válcová pevnost v tlaku
 $f_{Ck,cube}$ – minimální charakteristická krychelná pevnost v tlaku

4.2 Objemová hmotnost

Objemová hmotnost lehkých betonů se po vysušení pohybuje od 800 kg/m^3 do 2000 kg/m^3 . Dokonce je možné docílit i hodnot pod 600 kg/m^3 . Nízká hmotnost se dosáhne nahrazením běžného kameniva jinou vstupní surovinou. Jako nejběžnější suroviny se dnes používají expandovaný perlit, polystyren a různé druhy keramických kameniv (například Liapor). Další možností je vytvoření pórů v cementové směsi. Norma ČSN EN 206 +A1 rozděluje ztvrdlý beton podle objemové hmotnosti na beton lehký ($800\text{--}2000 \text{ kg/m}^3$), obyčejný ($2000\text{--}2600 \text{ kg/m}^3$) a těžký ($>2600 \text{ kg/m}^3$). Lehké betony dále dělíme podle tabulky 2 do jednotlivých tříd. [4], [N1]

Tabulka 2 – Třídy objemové hmotnosti lehkého betonu [N1]

Označení	LC 1,0	LC1,2	LC 1,4	LC 1,6	LC 1,8	LC 2,0
Objemová hmotnost od do [kg/m ³]	≥ 800 ≤ 1000	> 1000 ≤ 1200	> 1200 ≤ 1400	> 1400 ≤ 1600	> 1600 ≤ 1800	> 1800 ≤ 2000

5 SLOŽENÍ

Pro výrobu lehkých konstrukčních betonů se oproti klasickým betonům využívá lehkého (pórovitého) kameniva. Ostatní složky lehkého betonu se oproti složkám klasických betonů nijak neliší. Všechny použité složky musí odpovídat daným normám a celý beton musí odpovídat normě ČSN EN 206 +A1. [2]

5.1 Kamenivo

Pro výrobu lehkých betonů se používá pórovité kamenivo. Pórovitá kameniva jsou kameniva s objemovou hmotností do 2000 kg/m^3 . Využívají se přírodní pórovitá kameniva, pórovitá kameniva uměle vyráběná z průmyslových odpadů a pórovitá kameniva uměle vyráběná z přírodních zdrojů. [2]

5.1.1 Funkce kameniva

Kamenivo je sypký materiál, který zaujímá 60 až 75 % objemu betonu a jeho hlavní funkcí je vytvoření pevné kostry v betonu s minimální mezerovitostí, proto obsahuje různě veliká zrna ve vhodném poměru. Pro výrobu betonu se kamenivo dělí na dva základní druhy, a to jemné a hrubé. Jemné kamenivo se zpravidla skládá z přírodního písku nebo šterku a z částecek, které propadnou sítím s otvory do 4 mm. Hrubým kamenivem jsou označovány všechny frakce od 4 do 63 mm. Zastoupení jednotlivých velikostí zrn kameniva má zásadní význam pro zpracovatelnost čerstvého betonu a do značné míry může ovlivnit i výslednou kvalitu příslušné betonové konstrukce. [6], [N2]

5.1.2 Přírodní pórovité kamenivo

Přírodní pórovité kamenivo se v ČR nevyskytuje, dříve se využívala pouze křemelina. Přírodní pórovité kamenivo má velkou výhodu oproti uměle vyráběnému v tom, že je většinou vhodné pro výrobu lehkých betonů ihned po vytěžení, podrcení a roztřídění. Struktura přírodního kamene může být mikro až makropórovitá. Mezi tento typ pórovitého kameniva patří:

- **Vulkanické tufy a tufity** – Jsou to lehké horniny sopečného původu. Jejich ložiska se nacházejí ve velké míře na Slovensku. Drcený tuf obsahuje až 12 % prachových podílů, které lpí na zrnech a musí být odstraněny praním. Objemová hmotnost v suchém stavu je 1000 až 1600 kg/m^3 . Dále se používají vápenné tufy s nízkou objemovou hmotností 650 - 850 kg/m^3 a pevností v suchém stavu $4,5$ - 20 MPa (pevnost je závislá na vlhkosti). [5], [6]
- **Vulkanická láva a pemza** – Láva má hnědou nebo šedomodrou až šedočernou barvu. Naleziště lehké lávy se nacházely na Slovensku u Staré Kostolné Bašty, odkud se dovážela surovina i na Moravu. Pórovitá láva vznikla při vulkanických erupcích a její pórovitost vznikla díky prudkému uvolnění plynů a par z magnátu v důsledku poklesu tlaku při opuštění

sopečného jícnu. Díky tomu je většina pórů uzavřená. Sypná hmotnost vulkanické lávy silně kolísá podle naleziště a zrnitosti, a to v hodnotách 750-1700 kg/m³. Naleziště pemzy jsou především v Arménii a na severním Kavkaze. U nás se vyskytuje v Českém středohoří, ale v netěžitelném množství. Vznikla při vulkanických erupcích. Pemza je bělavé, šedavé nebo žlutavé barvy s pórovitostí asi 80 %, není schopna pohlcovat vzdušnou vlhkost (rychle vysychá) a objemová hmotnost písku je 550-800 kg/m³ a drti 300-600 kg/m³. [5], [6]

- **Diatomity** – (křemelina) Vznikly volným usazováním křemičitých skořápek jednobuněčných ve vodě žijících řas, zvaných rozsivky. Ložiska diatomitu se nacházejí téměř ve všech státech bývalého Sovětského svazu, v USA v Dánsku a ve Francii. Největší ložisko křemeliny u nás je u Borovan a Ledenic u Českých Budějovic. Objemová hmotnost je 600-900 kg/m³, pevnost v tlaku vysušeného kameniva 1,2-6,0 MPa. Pro použití se křemelina upravuje tvrzením v autoklávech nebo vypálením. [5], [6]

5.1.3 Umělé pórovité kamenivo vyráběné z průmyslových odpadů

Průmyslové odpady se ve stavebnictví používají zejména z důvodu ekonomického, ale i z důvodu ekologického. Využívá se pro výrobu různých lehkých betonů bez zvláštních úprav. Nevýhodou těchto kameniv je kolísavost složení, která ovlivňuje i kvalitu betonů. Jejich použití je podmíněno nízkou měrnou aktivitou Radonu.

- **Strusky** – Vznikají jako doprovodné výrobky hutní výroby, roztavením hlušin rudy, přísadků struskotvorných látek a minerálních podílů z pevných paliv. Ve stavebnictví se využívaly převážně strusky vysokopecní, které vznikají ve vysokých pecích při výrobě železa. Zpevnováním strusek lze vyrábět ekonomicky vhodné pórovité kamenivo pro řadu lehkých betonů, dnes se ale zpěněná struska již nepoužívá a vysokopecní struska se využívá hutná, nezpěněná, jako kamenivo do běžných betonů. [5], [6]

- **Termozit** – Je to zpěněná struska, která má vyloženě pěnový charakter bez větší mechanické pevnosti. Termozit má bílou barvu, objemovou hmotnost frakce 3/15 mm v rozmezí 300-550 kg/m³, je velmi málo hygroskopický a nasákavý. Díky těmto vlastnostem je velmi dobře odolný vůči účinkům mrazu. Beton vyráběný z termozitu se označoval jako Termobet a sloužil jen jako tepelná izolace. Jeho objemová hmotnost se pohybovala okolo 1100 kg/m³. [5], [6]

- **Agloporit** – Tímto názvem označujeme pórovité kamenivo vyráběné zpravidla krátkodobým výpalem odpadních materiálů z energetického, hutního i jiného průmyslu, jejichž odstraňování ze závodů bývá často dosti nákladné. U nás se agloporit vyrábí spékáním syrových sbalků, které získáváme sbalkováním létavých popílků vznikajících spalováním domácích černých a hnědých uhlí. Barva zrn je šedohnědá až červenohnědá, objemová hmotnost 1000-

1450 kg/m³ a nasákavost 17-21 %. Při objemové hmotnosti 1200 kg/m³ agloporit dosahuje pevnosti 5–9 MPa. Vyráběné frakce tohoto kameniva jsou 4/8 a 8/16. [11]



Obrázek 1 – kamenivo Agloporit [11]

- **Cihelná drť** – Využívala se po rozsáhlých válečných destrukcích ve Francii i Německu po obou světových válkách, kdy jiná pórovitá kameniva nebyla prakticky vyráběna. Rozdrcené zlomky cihel nebo cihelné suti mají objemovou hmotnost 1400-2000 kg/m³ a nasákavost 25-45 %. [5], [6]
- **Poraver** – Je to lehčené kamenivo vyráběné z recyklovaného skla a zejména ze střepů nevyužitelných pro výrobu lahví. Dosahuje vysoké tepelné odolnosti až 700 °C. Má výborné tepelné a akustické vlastnosti. Vyrábí se ve velikostech 0,1-16 mm a má objemovou hmotnost 300-1000 kg/m³. [10]
- **Lyttag** – Výroba je založena na vypálení granulovaného popílku při teplotách kolem 1100 °C. Výsledný materiál má vlastnosti srovnatelné s přírodním kamenivem mimo objemové hmotnosti 750-1400 kg/m³, díky které je používán při stavbě masivních těžkých staveb, za účelem snížit jejich hmotnost. Pevnost granulí v tlaku je vyšší než 5 MPa. [12]
- **Rugen** – Umělé kamenivo vyráběné z jemných anorganických odpadních materiálů, vznikajících v energetickém průmyslu. Dalšími surovinami pro výrobu jsou hydraulická pojiva, příměsi, přísady a voda. Kamenivo se z těchto surovin vyrábí za běžných teplot. Lze vyrábět frakce od 0-50 mm. Je používáno ve formě kulových i nepravidelných zrn. Jeho sypná hmotnost se pohybuje v rozmezí 500-1200 kg/m³ a pevnost od 0,5 do 10 MPa. [13]



Obrázek 2 – kamenivo Rugen [13]

5.1.4 Umělé pórovité kamenivo vyráběné z přírodních látek

Požadavky na kamenivo pro lehké betony nemohou často přírodní látky nebo průmyslové odpady ať již v původním nebo upraveném stavu splnit. Příčina často spočívá ve vlastnostech těchto materiálů a v jejich kolísání. Proto se začalo vyrábět pórovité kamenivo z v přírodě se nacházejících vhodných látek, tak aby jeho výsledné vlastnosti plně vyhovovaly požadavkům kladených na pórovité kamenivo. Umělé pórovité kamenivo z přírodních látek se používá jako kamenivo pro konstrukční a konstrukčně izolační betony nebo pro izolační malty.

- **Keramzit** – Vyrábí se tepelným expandováním hlín s vhodným chemickým a mineralogickým složením. Při vypalování o teplotách 1100-1200 °C se v hlínách tvoří uzavřené dutinky plynů a tím ztrácí hmotnost. Hlíny pro výrobu keramzitu musí splňovat tři podmínky. Za prvé se při vhodné teplotě musí stavit dostatek látky, aby uzavřela póry na povrchu a tím zabránila unikání plynů tvořících se uvnitř. Za druhé musí uvnitř zůstat dostatečná viskozita taveniny, aby nedocházelo k vytváření nadměrně velkých pórů. Za třetí se musí v surovině vyskytovat taková látka, která uvolní plyny právě v době, kdy se povrch stává. Objemová hmotnost je 550-1900 kg/m³, pórovitost 35-60 a nasákavost 10-14 %. [2]

- **Liapor** – Je to produkt vyráběný v Evropě expandováním jílu a dříve byl nazýván keramzitem. Vyrábí se tepelnou expandací cypřišových jílu. Jíly jsou přepraveny nejprve na skládku, odtud putují na hrubou úpravu (mletí, drcení). Poté následuje odležení, a nakonec jsou pomocí granulačních talířů a vakuových šnekových lisů tvořeny granule, které se vypálí v rotační peci. K expandaci dojde při teplotě zhruba 1100 °C. Vypálené granule jsou následně tříděny na jednotlivé frakce. Zrna jsou téměř kulovitá, frakce od 0/4 do 8/16, objemové hmotnosti zrna 500-1500 kg/m³. Má vysokou pevnost v tlaku 0,7-10 MPa a díky pórům je velice mrazuvzdorný, protože se voda může uvnitř zrn rozpínat. [8,14]



Obrázek 3 – kamenivo Liapor [8]

- **Siopor** – Je to kamenivo na bázi křemičitanů o objemových hmotnostech 220-400 kg/m³. Využívá se především v pozemním stavitelství pro konstrukce stropů, podlah, střeš a teras. Jedná se spíše o kamenivo s dobrými tepelně i zvukově izolačními vlastnostmi a nižšími

pevnostními charakteristikami. Je vyráběn ve třech základních frakcích (0,1–1,0; 0,63–2,5; 2,5–6,0). Pro běžné stavební práce je nejvhodnější největší frakce. Sioporbeton se dá lehce formovat do různých ozdobných tvarů a díky tomu je používán v oblasti památkové péče budov, kde je zapotřebí tepelně chránit historický objekt, nebo jinou chráněnou budovu. [2], [9]

- **Kavitit** – Vyráběl se z cihlářských hlín vyformováním dutých kuliček, které se vypálily při teplotách běžných v cihlářském průmyslu. Kuličky měly průměr 10-30 mm a tloušťku stěny 1,5-3,5 mm. Objemová hmotnost byla 600-900 kg/m³, mezerovitost 40-50 % a nasákavost 17-20 %. Kavitit se používal především pro výrobu jednozrnných betonů. [6]

- **Expandit** – Proces výroby je obdobný jako u Keramzitu, jen s tou výhodou, že u tyto horniny nepotřebujeme před výpalem nijak pracně upravovat. Horniny pouze podrtíme na požadovanou velikost zrn. Pro vypálení můžeme použít řadu pecí, nejčastější jsou pece rotační, aglomerační rošty a některé pece speciální. Výše vypalovací teploty závisí na chemickém složení horniny a pohybuje se mezi 600-1400 °C. Expandované horniny jsou velmi kvalitním lehkým kamenivem pro výrobu lehkých betonů z důvodu nízkého obsahu organických a sirných látek, malé proměnlivosti a díky ovlivnitelnosti technologie výroby. V ČR měla ve stavebnictví největší význam expandovaná břidlice zvaná expandit. Zrna expanditu jsou uvnitř silně, ale jemně pórovitá a barvu mají tmavě šedou. Jeho objemová hmotnost je 500-800 kg/m³ a nasákavost je asi 13 %. [5], [6]

- **Expandovaný Perlit** – Perlit je vulkanické ryolitové sklo, které obsahuje vodu a je složeno z křemičitanu hlinitého. Objemová hmotnost perlitu bývá 1600-2000 kg/m³, jeho pórovitost je až 50 %. Expandovaný perlit je sklovitý, bílé barvy. Proti ostatním druhům pórovitého kameniva je velmi lehký. Jeho objemová hmotnost je 70-450 kg/m³ a je to nejdůležitější ukazatel jeho jakosti. Je jedním z nejlepších izolačních materiálů. Expandovaný perlit má velmi malou hygroskopičnost, ale nasákavost je hlavně u nejmenších frakcí velmi vysoká a může se vyšplhat i přes 300 %. [5], [6]

- **Expandovaný Vermikulit** – Vyrábí se rychlým výpalem rozdrčené slídy, při kterém mnohonásobně zvětší svůj objem. Celý proces probíhá při teplotách nižších, než je teplota tání slíd a díky tomu nenastává pyroplastický stav nebo slinování, které by produkt zpevnilo. Objemová hmotnost expandovaného Vermikulitu je jen 60-200 kg/m³. Vermikulit má velmi nízký součinitel tepelné vodivosti a díky tomu je využíván jako tepelná izolace. Používá se pro tepelné izolace při vyšší teplotě, protože teplota tání Vermikulitu je okolo 1350 °C. Vyrábí se z něho tepelně izolační malty a betony. Pro dobré zpracování betonové směsi musí být její vodní součinitel velmi vysoký, někdy až 50 %. [5], [6]

5.2 Cement

Cement je anorganická látka s hydraulickými vlastnostmi. Po smíchání s vodou postupně tuhne a tvrdne. Výsledkem hydratace vápenatých silikátů a aluminátů je hydraulické tvrdnutí. Cement se vyrábí společným vypalováním vápence a jílu při teplotách okolo 1450 °C. Vyrobený slínek se poté rozemílá i s přidanými příměsi. Výsledný produkt (cement) je pojivou složkou betonu. Pro cementy platí evropská norma ČSN EN 197-1 ed.2. Tato norma dělí cementy do pěti skupin dle složení:

- CEM I – portlandský cement
- CEM II – portlandský cement směsný
- CEM II – vysokopeční cement
- CEM IV – pucolánový cement
- CEM V – směsný cement

Dále cementy dělíme do tří pevnostních tříd 32,5 MA 42,5MPa a 52,5 MPa. Cementy s vysokým nárůstem počáteční pevnosti se značí písmenem R, s normálním nárůstem pevnosti písmenem N a s pomalým nárůstem pevnosti písmenem L. [2], [5]

5.3 Voda

V betonářské technologii plní voda dvě funkce, a to hydratační a reologickou. Hydratační funkcí je to, že cement díky vodě hydratuje a vytváří spolu tuhounou strukturu cementového kamene. Minimální množství vody pro hydrataci cementu je přibližně 23 až 25 % hmotnosti cementu. Voda umožňuje vytvoření tvárného čerstvého betonu a tím plní funkci reologickou. Technologicky vodu dělíme na záměsovou a ošetřovací. Voda záměsová se dávkuje při míšení do betonu a ošetřovací se dodává po zatuhnutí betonu pro udržení betonu ve vlhkém stavu. Oba druhy vody musí vyhovovat kvalitativním požadavkům. [15]

5.4 Přísady a příměsi

Přísady a příměsi jsou doplňkové složky betonu. Mohou se do něho přidávat během míchání, za účelem zlepšení jeho vlastností. Přísady jsou chemické látky, které se používají za účelem zlepšení vlastností čerstvého nebo ztvrdlého betonu. Nejčastěji jsou kapalné, ale mohou být i práškové. Rozdělují se na typy podle hlavního nebo převažujícího účinku působení dle normy ČSN EN 934-2 +A1. Při výrobě hutných lehkých betonů se někdy využívá stabilizátor k omezení náchylnosti lehkého betonu k rozměšování a odsávání vody. Pro výrobu mezerovitých lehkých betonů se používají plynotvorné a pěnnotvorné přísady ke zvýšení obsahu pórů v betonu. Příměsi jsou jemné práškovité látky přidávané do betonu za účelem ovlivnění některých vlastností betonu, nebo pro získání betonu speciálních vlastností. Při výrobě betonu

dle ČSN EN 206 +A1 je možno použít příměsi druhu I a II. Příměsi se většinou dávkuje ve větších množstvích než přísady, tj. více než 2 % z dávky cementu, a proto musí být započítány do objemové skladby cementu. [2], [N1]

6 TRVANLIVOST BETONU

Trvanlivost betonu je schopnost betonu plnit jeho funkci po stanovenou dobu v určeném prostředí. K trvanlivosti lehkého betonu se přistupuje shodně jako k trvanlivosti běžného betonu. Trvanlivost betonu ovlivňuje především působení fyzikálních a mechanických dějů. Koroze betonu jsou děje, které vedou k jeho rozrušování na jeho povrchu, uvnitř betonu a na povrchu ocelové výztuže. Vlivem korozivních procesů vznikají různé závady (lom, trhlinky, deformace, odprýskávání, výkvěty, skvrny apod.). Korozivní procesy jsou způsobené:

- Chemickými vlivy (roztoky kyselin a solí, organické sloučeniny, plyny, znečištěné ovzduší, tuhé škodlivé látky)
- Fyzikálními pochody (teploty pod bodem mrazu, vysoké teploty, mechanický otěr)
- Biologickým působením organismů (plísň, mikroorganizmy) [15]

6.1 Fyzikální vlivy na trvanlivost

6.1.1 Mrazuvzdornost betonu

Mrazuvzdornost betonu je schopnost betonu nasyceného vodou odolávat opakovanému zmrazování a rozmrazování. V kapilárách se voda přemění v led nejdříve při teplotách asi $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota tvorby ledu závisí na velikosti kapilár. Postupným snižováním teploty se v kapilárách vytváří ledová tříšť, která se postupně tlačí z větších kapilár do menších. Postupně se zvětšuje objem, protože led má o 9 % větší objem než voda, tím vzniká krystalický tlak ledu, který překračuje až 200 MPa. Led zpočátku vzniká na povrchu betonu a dle rychlosti ochlazování se tlačí do středu betonu a způsobuje objemový nárůst. Po roztání ledu zůstává až 1/3 celkového roztažení. Mrazuvzdornost betonu závisí na:

- **Stáří betonu**, které lze rozdělit z hlediska mrazuvzdornosti na čtyři časové úseky, z nichž má každý odlišnou mrazuvzdornost.
 1. Od zamíchání do počátku tuhnutí. Zmrznutí nezpůsobí narušení struktury, pouze se zvětší pórovitost zhruba o 10 %. Hydratace pokračuje po zvýšení teploty a rozmrznutí, bez narušení konstrukce betonu.
 2. Od počátku tuhnutí do doby nabytí zmrazovací pevnosti betonu 5 až 8 MPa. Tento úsek je kritický a pokud beton zmrzne, zcela se naruší jeho konstrukce, klesne jeho pevnost a je nepoužitelný.
 3. Po dosažení zmrazovací pevnosti do dosažení požadované pevnosti betonu. Beton postupně získává vyšší mrazuvzdornost, jak se zvyšuje jeho pevnost.
 4. Mrazuvzdornost ztvrdlého betonu po dosažení normové pevnosti.

- **Kontaktu s vodním prostředím.** Pokud beton není nasáklý vodou, snižování teploty pod bod mrazu se projeví pouze teplotní roztažností. Je-li beton ve vodním prostředí, beton nasákne a zmrznutí se projeví objemovými změnami vody, teplotními dilatacemi a působením hydraulického tlaku.
- **Pórovitá struktura cementového kamene.** Toto kritérium je rozhodujícím u posuzování mrazuvzdornosti. Voda zamrzá postupně od největších kapilár k nejmenším. Uzavřené póry, které nejsou naplněné vodou, mrazuvzdornost neovlivňují.
- **Koncentrace roztoku,** který je obsažen v pórovité struktuře cementového kamene. Čím je roztok koncentrovanější, tím se bod tání snižuje.
- **Pevnost betonu.** Beton musí odolávat napětí, které vznikne zvětšováním objemu vody přecházející v led. Kritické napětí lze odvodit z Hookova zákona (hydraulický tlak odpovídá pevnosti betonu v tahu).
- **Provzdušnění betonu** je umělé vytvoření uzavřených pórů v cementovém kameni. Uzavřené póry nejsou zaplněné vodou a díky tomu mohou sloužit jako kompenzační prostor pro zvětšování objemu ledu.
- **Stupeň nasycení kapilární pórovitosti vodou** se vypočte jako kapilární pórovitost vydělená celkovou pórovitostí a měl by mít hodnotu menší než 0,8.

Zkoušení mrazuvzdornosti betonu se provádí dle ČSN 73 1322 Stanovení mrazuvzdornosti betonu. Zkouška se provádí na trámcích o rozměrech 100x100x400 mm plně nasycených vodou. Trámce se střídavě zmrazují a rozmrazují. Zmrazování a rozmrazování probíhá v rozmrazovacích cyklech. Jeden cyklus se skládá ze 4 hodin zmrazování a 2 hodin rozmrazování ve vodě +20 °C teplé. Po skončení zmrazovací etapy (25 nebo 50 cyklů) se vzorky povrchově osuší a zkouší se jejich pevnost v tahu ohybem. Zkouška se ukončí po provedení požadovaného množství cyklů, nebo když dojde k úbytku hmotnosti trámek větší než 5 %. Pevnosti v tahu ohybem zkušebních vzorků se porovnají s pevností v tahu ohybem porovnávacích vzorků. Součinitel mrazuvzdornosti betonu vypočteme jako podíl pevnosti zmrazovaných trámek a porovnávacích trámek. Beton je mrazuvzdorný na ten počet cyklů, při kterém je součinitel mrazuvzdornosti větší než 75 %. [N6]

Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek dle ČSN 73 1326 se obvykle provádí na krychlích o hraně 150 mm. Vzorky nasáklého betonu vodou se uloží do misky s 3 % roztokem NaCl tak, aby byly ponořeny

do výšky 5 ± 1 mm. Ve zkušebním prostoru jsou střídavě vystaveny teplotám -15 °C a $+20$ °C, každé po dobu 15 minut. Po každém z 25 cyklů se vzorky vyjmou a o odpadlé částice se vysuší a zváží. Výsledek zkoušky se udává odpadem v g/m^2 a za pomlčkou se uvede počet cyklů, při kterém bylo uvedeného odpadu dosaženo. [N7]

6.1.2 Obrusnost betonu

Tato vlastnost je významná především u cementobetonových krytů vozovek a u betonové dlažby. Obrusnost je trvanlivost betonu vůči dlouhodobému působení tangenciálních sil na povrchu. Vytvářejí je předměty nebo pneumatiky, zvláště při rozjíždění a brždění. Obrusnost je téměř nezávislá na pevnosti betonu, ale závisí na petrografickém druhu použitého kameniva, především hrubé frakce. Obrusnost je vyšší u betonů nasáklých vodou. Obrusnost se určuje dle ČSN 73 1324 Stanovení obrusnosti betonu. Zkouší se na Böhmově přístroji s použitím brusiva na vzorcích o ploše 50 cm^2 po 440 otáčkách. [15], [N8]

6.1.3 Požární odolnost betonu

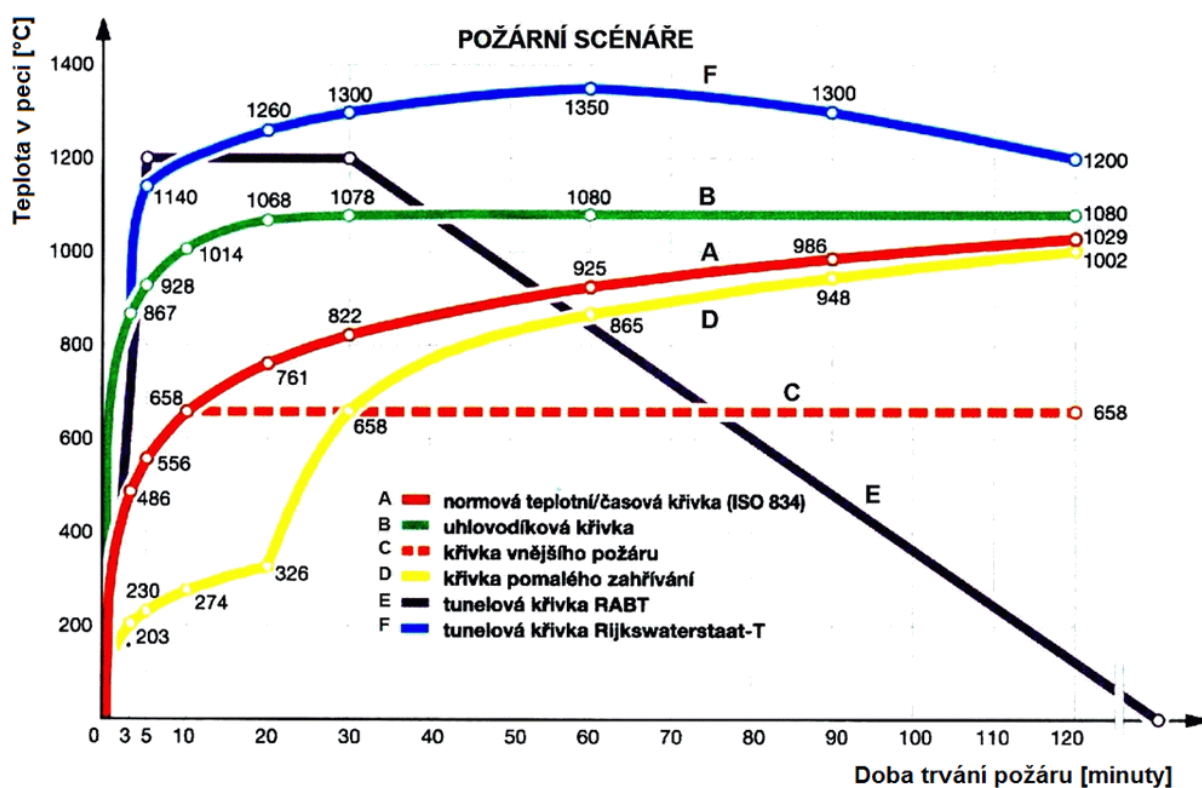
Beton je nehořlavý materiál a ve srovnání s jinými stavebními materiály má vynikající vlastnosti z hlediska požární odolnosti. Přesto je chování betonu (zejména železo-betonu) působením požáru negativně ovlivňováno. Při vystavení betonu zvýšeným teplotám dochází k mechanickým, fyzikálním a chemickým procesům vedoucím k nenávratným změnám jeho vlastností. Při teplotách 20 – 100 °C dochází k přeměně vázané vody v chemicky vázanou, vzniku C–S–H gelu a Ca(OH)_2 . Za teplot okolo 100 °C začíná dehydratace cementového tmele, dochází k uvolňování volné vody a současně k rozkladu hydrátů. Při 150 °C vrcholí první fáze rozkladu C–S–H gelu. Nad 200 °C se uvolňuje vázaná voda. Nad 300 °C pokračuje za výrazného vzniku mikrotrhlin rozpad C–S–H gelu a Ca(OH)_2 a začíná se porušovat kamenivo. Mezi 550 – 600 °C nastává fázová změna křemene z triklinické soustavy na hexagonální soustavu, a to společně s vlivem rozdílné teplotní roztažnosti vede k narušování vazeb mezi kamenivem a cementovým tmelem. Při působení teplot 700 – 750 °C vrcholí druhá fáze rozkladu C–S–H gelu. Nad 800 °C hydraulické vazby v cementovém tmelu přecházejí na vazby keramické. Při teplotě 900 °C nastává totální dekompozice cementového tmele. Nad 1000 °C začíná tavení některých složek betonu a nad 1200 °C začíná celkové tavení materiálu. U železobetonu se projeví také pokles pevnosti ocele a dochází k deformacím. [16]

Požární odolnost konstrukce je doba, po kterou dokáže konstrukce odolávat teplotám vznikajícím při požáru a stále plnit svoji funkci, tj. nosnost, stabilitu, celistvost a další. Požární odolnost konstrukcí se zkouší na zkušebních vzorcích, které mají být ve skutečné velikosti.

Povrch zkušební vzorku má být ošetřen stejně jako při konečném použití. Zkouška se provádí ve zkušební peci, která je schopna zahřívát svislé nebo vodorovné konstrukce z jedné strany, sloupy ze všech stran, stěny z více než jedné strany, nebo ohřívát nosníky ze tří nebo čtyř stran s ohledem na daný případ. Zkouška se provádí na zatížených vzorcích. Teplota v peci při zkoušce se řídí podle teplotních křivek uvedených v Tabulce 3. [N3]

Tabulka 3 – Požární scénáře

Požární scénáře
Normová teplotní křivka
Uhlovodíková teplotní křivka
Křivka vnějšího požáru
Křivka pomalého zahřívání
Tunelová křivka RABT
Tunelová křivka Rijkswaterstaat-T



Graf 1 – Požární scénáře [17]

6.2 Chemická koroze betonu

6.2.1 Vápenné rozpínání

Vápenné rozpínání způsobuje volný, vysoce pálený CaO, který nezreagoval a velmi pomalu hydratuje. Po hydrataci ve ztvrdlém cementu zvětší svůj objem až 1,7krát a tím porušuje strukturu betonu. Podobně se chová i MgO ve formě periklasu. [15]

6.2.2 Karbonatace betonu

Je to projev stárnutí betonu, který je soustavně napadám oxidem uhličitým z ovzduší. Vysoký výskyt oxidu uhličitého je zejména v průmyslových oblastech. Rozklad probíhá na povrchu betonu a časem se postupně rozšiřuje otevřenou pórovitostí do hloubky až k povrchu oceli což má za následek její korozi. Rychlost karbonatace je v rozmezí 0,1 až 1 mm za rok. Betony vystavené dešti mají menší karbonataci, protože absorpce vody do kapilár omezuje pronikání CO₂ k hydratovaným minerálům. [15]

6.2.3 Výkvěty

Tvoří se na pórovitých látkách tehdy, obsahují-li rozpustné soli, nebo vznikají-li tyto soli chemickou reakcí v konstrukci. Voda se na povrchu odpaří a rozpuštěné soli vykrystalizují, většinou jako sloučeniny s mnoha molekulami vody. Tím zvětšují svůj objem a mohou způsobit i destrukci skeletu pórovité látky. Výkvěty jsou především estetickou závadou na povrchu betonu. Často se objeví za 4 týdny až 4 měsíce po betonáži a vlivem deště se postupně smývají. [15]

6.2.4 Biologická koroze betonu

Biologická koroze betonu je spíše ojedinělá. Mikroorganismy rostou pouze za dostatečné vlhkosti a teploty. Plísně se na povrchu tvoří za přítomnosti organických látek a vhodného prostředí. Jsou ale pouze estetickou závadou. Pod vodou se na povrchu betonů tvoří řasy, které v trhlinách vytvářejí napětí a mohou případně způsobit i povrchové poškození. Ve vlhkém prostředí mohou na povrchu betonu růst lišejníky, které zachytávají vodu a ta v mrazivém počasí může poškodit povrch betonu. [15]

PŘEDPOKLÁDANÉ CÍLE

Hlavním cílem práce bylo navrhnout, odzkoušet a porovnat dvě receptury lehkého konstrukčního betonu. Receptury se lišily v použitém druhu lehkého kameniva, ale třída objemové hmotnosti ztvrdlého betonu byla v obou případech totožná. Účelem návrhu bylo zjistit vliv použitého druhu kameniva na fyzikální a mechanické vlastnosti betonu a dále na vybrané charakteristiky trvanlivosti.

Navrhovaný beton byl konstrukční. Kvůli možnosti vzniku požáru blízko betonové konstrukce byla další část zkoumání zaměřena na požární odolnost betonu. Předpokládá se, že požární odolnost lehkého betonu bude díky použití umělého kameniva výborná. Dále byly provedeny zkoušky ztvrdlého betonu, a to pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu a zkouška objemové hmotnosti. Zkoušky čerstvého betonu byly také provedeny, ale nebyla jim věnována přílišná pozornost.

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

7 NÁVRH RECEPTURY

V experimentální části této bakalářské práce byly navrženy dvě receptury, které se lišily v použitém druhu lehkého kameniva. Cílem bylo vytvořit lehký konstrukční beton, který by byl vhodný např.: pro autorem zvolené použití – výrobu mostovky lávky pro pěší. Výsledný beton měl být pevnostní třídy alespoň LC 30/33 D 2,0 – XC1, XF1 – $D_{\max} 16$ – S3. V bakalářské práci byla u betonu z hlediska trvanlivosti stanovena zkouška požární odolnosti. Dalším cílem bylo porovnat vliv druhu kameniva na vlastnosti čerstvého a ztvrdlého betonu.

Po návrhu složení čerstvého betonu byly míchány zkušební záměsi, které byly upravovány tak, aby výsledná směs měla hodnotu sednutí kužele 100–150 mm to znamená konzistencí S3. Úprava probíhala v postupném přidávání (ubírání) množství superplastifikátoru a vody.

Byly použity tři druhy frakce kameniva. Jako kamenivo frakce 0/4 byl u obou receptur použit písek dovezený z betonárny patřící společnosti CEMEX Czech Republic, s.r.o., který původem pochází z lomu Čeperka, patřící stejné společnosti. Frakce kameniva 4/8 a 8/16 byly z lehkého kameniva a pro každou recepturu byl použit jiný druh kameniva.

- Agloporit pochází z Brna, kde vyvíjí jeho výrobu firma Svoboda a Syn, s.r.o.
- Rugen byl dovezen z Nového Bydžova z firmy M–SILNICE a.s. a původně pochází od společnosti Teplárna Strakonice, a.s., která vyrábí kamenivo ve spolupráci se společností Ekosat, a.s. ve Strakonících.

Na vzorcích kameniva frakce 0/4 byly provedeny zkoušky sypné hmotnosti, objemové hmotnosti, vlhkosti a zrnitosti. Na vzorcích umělého pórovitého kameniva frakcí 4/8 a 8/16 byly provedeny zkoušky sypné hmotnosti, zdánlivé objemové hmotnosti, zrnitosti a vlhkosti.

Jako pojivo byl použit portlandský cement EN 197-1-CEM – I 42,5 R. Výrobce tohoto betonu je společnost CEMEX Cement, k.s., Prachovice. Výrobce garantuje rychlý nárůst počátečních pevností (min. 20 MPa po 2 dnech), vysoké konečné pevnosti (min. 42,5 MPa po 28 dnech) a vyšší vývin hydratačního tepla při procesu tuhnutí a tvrdnutí. Počátek tuhnutí výrobce udává minimálně po 60 minutách.

Přísada do betonu byla použita jedna, a to superplastifikátor STACHEMENT MM (FM) od firmy STACEMA CZ s.r.o. Tento superplastifikátor je vhodný pro výrobu všech běžných typů betonu se zaměřením na výrobu prefabrikátů, předpjatého betonu, monolitických konstrukcí, lehkého betonu apod. Při použití této přísady je možné snížení záměsové vody až o 30 %.

Příměs do betonu nebyla použita žádná.

Všechny složky použité pro výrobu betonu odpovídají platným normám pro použití v betonu a jejich prohlášení o vlastnostech jsou v příloze této bakalářské práce. Výrobce kameniva Agloporit je ve fázi vývoje výroby tohoto kameniva, a proto prohlášení o vlastnostech není přiloženo k bakalářské práci.

Před samotným mícháním čerstvého betonu proběhla příprava, která spočívala v provedení již zmiňovaných zkoušek kameniva a v nasycení umělého kameniva vodou, které bylo do záměsí dávkováno, z důvodu vysoké nasákavosti, plně nasyceno.

7.1 Stanovení sypané hmotnosti kameniva

Stanovení sypané hmotnosti kameniva bylo provedeno dle ČSN EN 1097-3. Nejprve se připravily tři dílčí navážky dostatečné velikosti od každé frakce kameniva, které se následně vysušily při teplotě 110 ± 5 °C do ustálené hmotnosti (cca 24 h). Poté se zkalibrovala nádoba, čímž se zjistil její objem. Nádoba se naplnila navážkou a horní okraj se opatrně zarovnal pravítkem. U každé dílčí navážky se zjistily parametry:

- m_1 – hmotnost prázdné nádoby [kg]
- m_2 – hmotnost nádoby se zkušební navážkou [kg]
- V – objem nádoby [l]
- ρ_b – sypaná hmotnost volně sypaného kameniva [t/m^3]

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ [t/m}^3\text{]}$$

Výsledná sypaná hmotnost se vypočítá jako průměr tří dílčích navážek a zaokrouhlí se na tři desetinná místa. [N4]

Tabulka 4 – Nejmenší objem nádoby v závislosti na zrnění kameniva [N4]

Horní zrno kameniva (D) [mm]	Objem [l]
Do 4	1,0
Do 16	5,0



Obrázek 4 – Zkouška stanovení sypné hmotnosti [vlastní foto]

Tabulka 5 – Sypná hmotnost kameniva

Kamenivo	Číslo vzorku	m ₁ [kg]	m ₂ [kg]	V [l]	ρ _b [t/m ³]
Písek 0/4	1.1	0,113	1,740	1,092	1,490
	1.2	0,113	1,720	1,092	1,472
	1.3	0,113	1,760	1,092	1,508
Rugen 4/8	2.1	4,320	9,700	7,860	0,684
	2.2	4,320	9,720	7,860	0,687
	2.3	4,320	9,700	7,860	0,684
Rugen 8/16	3.1	4,320	9,040	7,860	0,601
	3.2	4,320	9,000	7,860	0,595
	3.3	4,320	9,020	7,860	0,598
Agloporit 4/8	4.1	4,320	9,960	7,860	0,718
	4.2	4,320	9,920	7,860	0,712
	4.3	4,320	9,900	7,860	0,710
Agloporit 8/16	4.1	4,320	9,800	7,860	0,697
	4.2	4,320	9,780	7,860	0,695
	4.3	4,320	9,780	7,860	0,695

Průměrné sypné hmotnosti:

- Písek 0/4 $\rho_{b\ 0/4} = \frac{1,490+1,472+1,508}{3} = \underline{\underline{1,490\ t/m^3}}$
- Rugen 4/8 $\rho_{b\ r4/8} = \frac{0,684+0,687+0,684}{3} = \underline{\underline{0,685\ t/m^3}}$
- Rugen 8/16 $\rho_{b\ r8/16} = \frac{0,601+0,595+0,598}{3} = \underline{\underline{0,598\ t/m^3}}$
- Agloporit 4/8 $\rho_{b\ a4/8} = \frac{0,718+0,712+0,710}{3} = \underline{\underline{0,713\ t/m^3}}$
- Agloporit 8/16 $\rho_{b\ a8/16} = \frac{0,697+0,695+0,695}{3} = \underline{\underline{0,696\ t/m^3}}$

7.2 Stanovení objemové hmotnosti zrn kameniva

Objemová hmotnost zrn písku frakce 0/4 byla stanovena dle ČSN EN 1097-6 Příloha A. Připravily se dvě dílčí navážky, které se vysušily při teplotě $110 \pm 5\ ^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti (cca 24 h). Stanovil se objem pyknometru průměrem ze tří měření. Poté se pyknometr zvážil, naplnil dílčí navážkou a znovu zvážil. Dále se do pyknometru nalila voda zhruba 30 mm pod zábrus hrdla a kamenivo se opatrně promíchalo. Následně se do pyknometru dolila voda zhruba 20 mm pod hrdlo a pyknometr se vložil na 1 hodinu do vodní lázně o teplotě $22 \pm 3\ ^\circ\text{C}$. Po vyjmutí se pyknometr zaplnil vodou, osušil a zvážil. U každé dílčí navážky se zjistily parametry:

- m_1 – hmotnost pyknometru a nálevky [g]
- m_2 – hmotnost pyknometru nálevky a dílčí navážky [g]
- m_3 – hmotnost pyknometru nálevky a dílčí navážky a vody [g]
- V – objem pyknometru [ml]
- ρ_w – hustota vody při zkušební metodě [t/m^3]

$$\rho_p = \frac{(m_2 - m_1)}{V - (m_3 - m_2) / \rho_w} \quad [\text{t/m}^3]$$

Výsledná objemová hmotnost zrn se vypočítá jako průměr dvou dílčích navážek a zaokrouhlí se na dvě desetinná místa. [N5]

Tabulka 6 – Nejmenší hmotnost dílčích navážek [N5]

Horní velikost kameniva (D) [mm]	Nejmenší hmotnost dílčí navážky [kg]
31,5	1,5
16	1,0
8	0,5
4 (nebo menší)	0,25

Tabulka 7 – Objemová hmotnost písku frakce 0/4

Kamenivo	č. vzorku	m ₁ [g]	m ₂ [g]	m ₃ [g]	V [ml]	ρ _w [t/m. ³]	ρ _p [t/m. ³]
Písek 0/4	1.1	227,39	506,73	1046	648,5	0,9975	2,589
	1.2	228,03	539,01	1062	648,5	0,9975	2,504

Průměrná objemová hmotnost zrna:

- Písek 0/4 $\rho_{p\ 0/4} = \frac{2,589+2,504}{2} = \underline{\underline{2,550\ t/m^3}}$

Objemová hmotnost umělého kameniva byla stanovena dle ČSN EN 1097-6 Příloha E. Připraví se dvě dílčí navážky pórovitého kameniva, které se vysuší při teplotě $110 \pm 5\ ^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti (cca 24 h). Každá dílčí navážka musí mít sypaný objem minimálně 0,5 l. Dílčí navážka se umístí do objemového válce A. Druhý objemový válec B se naplní vodou. Z válce B se přelije do válce A takové množství vody, aby hladina vody byla zhruba 3 cm nad kamenivem. Obsah válce A se opatrně promíchá, aby se odstranil zachycený vzduch. Po 30 s od naplnění válce A vodou se přečte objem vody a kameniva. U každé dílčí navážky se zjistily parametry:

- m₄ – hmotnost vysušeného kameniva [g]
- V(F) – objem vody a nasáklého kameniva v konečném čase nasakování [ml]
- V_w – objem vody v odměrném válci B [ml]
- ρ_{La} – zdánlivá objemová hmotnost zrn [t/m³]

$$\rho_{La} = \frac{m_4}{V(F) - V_w} \text{ [t/m}^3\text{]}$$

Výsledná zdánlivá objemová hmotnost zrn kameniva se vypočítá jako průměr dvou dílčích navážek a zaokrouhlí se na dvě desetinná místa. [N5]

Tabulka 8 – Zdánlivá objemová hmotnost zrn kameniva

Kamenivo	Číslo vzorku	m4 [g]	V(F) [ml]	Vw [ml]	ρLa [kg/m ³]
Rugen 4/8	1.1	380	700	460	1,583
	1.2	360	695	465	1,565
Rugen 8/16	2.1	360	790	545	1,469
	2.2	365	750	520	1,587
Agloporit 4/8	3.1	380	805	550	1,490
	3.2	420	830	545	1,474
Agloporit 8/16	4.1	400	730	485	1,633
	4.2	420	735	465	1,556

Průměrná zdánlivá objemová hmotnost zrn:

- Rugen 4/8 $\rho_{La\ r4/8} = \frac{1,583+1,565}{2} = \underline{\underline{1,570\ t/m^3}}$
- Rugen 8/16 $\rho_{La\ r8/16} = \frac{1,469+1,587}{2} = \underline{\underline{1,530\ t/m^3}}$
- Agloporit 4/8 $\rho_{La\ a4/8} = \frac{1,490+1,474}{2} = \underline{\underline{1,480\ t/m^3}}$
- Agloporit 8/16 $\rho_{La\ a8/16} = \frac{1,633+1,556}{2} = \underline{\underline{1,590\ t/m^3}}$



Obrázek 5 – Zkouška stanovení zdánlivé objemové hmotnosti zrn [vlastní foto]

7.3 Stanovení vlhkosti kameniva

Zkouška vlhkosti kameniva byla provedena dle ČSN EN 1097-5. Umělé kamenivo bude sice při výrobě betonu dávkováno plně nasycené vodou, ale vlhkost tohoto kameniva byla také stanovena, a to ve stavu před počátkem saturace. Vlhkost se stanoví tak, že se vytvoří od každé frakce 3 dílčí navážky a zváží se. Poté se navážky vysuší při teplotě 110 ± 5 °C do ustálené hmotnosti (cca 24 h) a znovu zváží. U každé dílčí navážky se zjistily parametry:

- m_1 – hmotnost zkušební navážky [g]
- m_2 – ustálená hmotnost vysušené zkušební navážky [g]
- w – vlhkost [%]

$$w = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \times 100 \text{ [%]}$$

Výsledná vlhkost je hmotnost vody ve zkušební navážce vyjádřená jako procento hmotnosti vysušené zkušební navážky. Výsledek se stanoví jako průměr z třech dílčích výsledků a zaokrouhlí na jedno desetinné místo. [N9]

Tabulka 9 – Vlhkost kameniva

Kamenivo	Číslo vzorku	m_1 [g]	m_2 [g]	w [%]
Písek 0/4	1.1	141,110	137,350	2,738
	1.2	184,210	178,410	3,251
	1.3	209,820	203,540	3,085
Rugen 4/8	2.1	106,840	103,230	3,497
	2.2	114,680	107,930	6,254
	2.3	124,050	117,890	5,225
Rugen 8/16	3.1	119,120	105,770	12,622
	3.2	123,290	109,420	12,676
	3.3	143,670	127,500	12,682
Agloporit 4/8	4.1	179,680	179,570	0,061
	4.2	175,580	175,500	0,046
	4.3	188,210	188,070	0,074
Agloporit 8/16	5.1	173,160	173,050	0,064
	5.2	145,190	145,140	0,034
	5.3	183,670	183,530	0,076

Průměrná vlhkost kameniva:

- Písek 0/4 $w_{0/4} = \frac{2,738 + 3,251 + 3,085}{3} = \underline{\underline{3,0 \text{ %}}}$

- Rugen 4/8 $w_{r4/8} = \frac{3,497+6,254+5,225}{3} = \underline{5,0\%}$
- Rugen 8/16 $w_{r8/16} = \frac{12,622+12,676+12,682}{3} = \underline{12,7\%}$
- Agloporit 4/8 $w_{a4/8} = \frac{0,061+0,046+0,074}{3} = \underline{0,1\%}$
- Agloporit 8/16 $w_{a8/16} = \frac{0,64+0,34+0,76}{3} = \underline{0,1\%}$



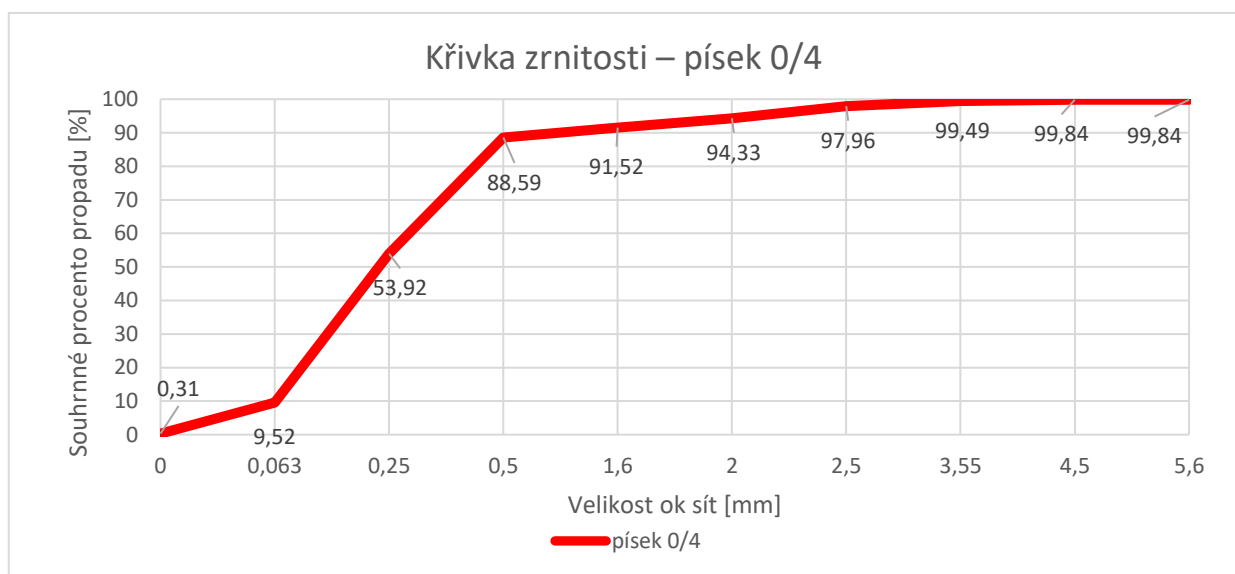
Obrázek 6 – Zkouška stanovení vlhkosti kameniva [vlastní foto]

7.4 Stanovení zrnitosti kameniva

Zrnitost kameniva byla stanovena dle ČSN EN 933-1. Zkouška nebyla provedena s normovou řadou sít, ale se síty dostupnými v laboratoři VVCD Univerzity Pardubice. Zrnitost se stanoví na vzorcích vysušených při teplotě $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ do ustálené hmotnosti (cca 24 h). Zváží se vysušený vzorek kameniva a každé jednotlivé síto. Poté se vzorek prosévá na sestavené sadě sít po dobu 10 minut při frekvenci 60 Hz. Po prosetí se zváží každé síto se zachyceným kamenivem a vypočítá se zachycená hmotnost na každém sítě jako procento původní suché hmotnosti. [N10]

Tabulka 10 – Stanovení zrnitosti písku

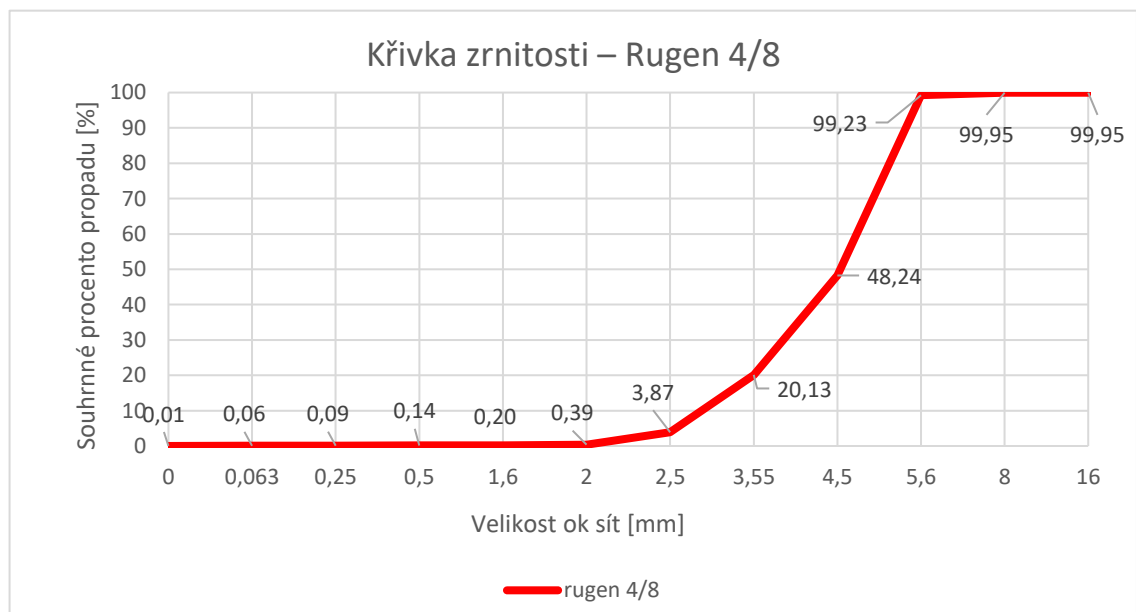
velikost ok sít [mm]	hmotnost síta [g]	hmotnost navážky + síta [g]	hmotnost zachyceného kameniva [g]	procento zbytku na sítu [%]	procentní propad [%]
0	326,98	327,94	0,96	0,31	0,31
0,063	242,68	271,11	28,43	9,21	9,52
0,25	282,06	419,14	137,08	44,40	53,92
0,5	284,75	391,79	107,04	34,67	88,59
1,6	488,75	497,78	9,03	2,92	91,52
2	346,10	354,77	8,67	2,81	94,33
2,5	525,77	536,98	11,21	3,63	97,96
3,55	417,26	422,00	4,74	1,53	99,49
4,5	425,56	426,64	1,08	0,35	99,84
5,6	427,98	427,98	0,00	0	99,84
navážka	308,73	Celkem	308,24	Kontrola	<1 %



Graf 2 – Stanovená křivka zrnitosti písku 0/4

Tabulka 11 – Stanovení zrnitosti Rugenu 4/8

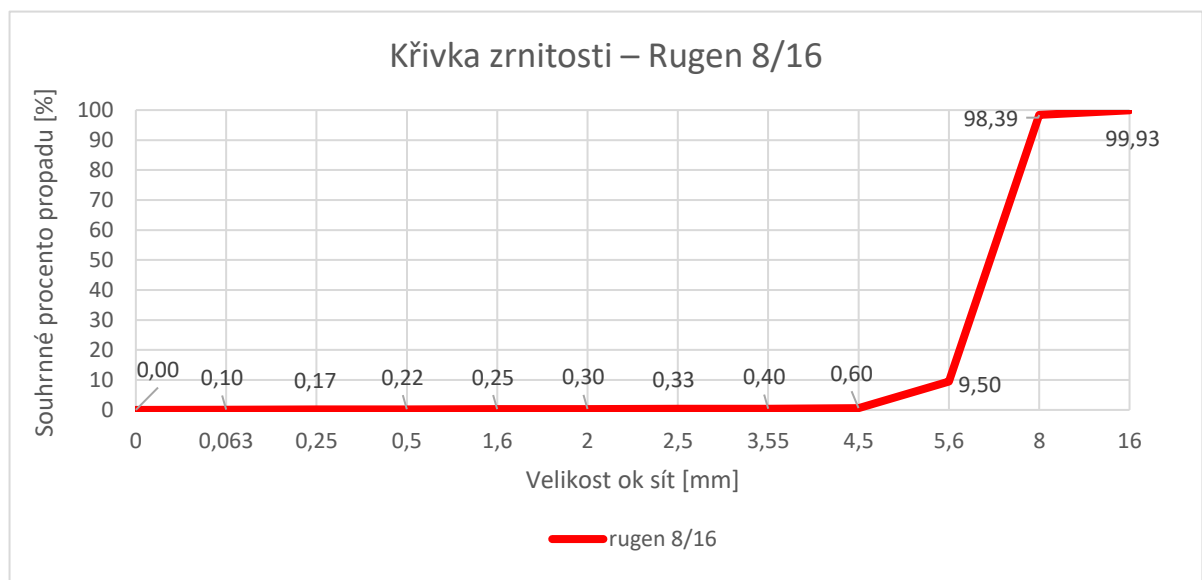
velikost ok sít [mm]	hmotnost síta [g]	hmotnost navážky + síta [g]	hmotnost zachyceného kameniva [g]	procento zbytku na sítu [%]	procentní propad [%]
0	326,8	326,9	0,1	0,01	0,01
0,063	242,5	243,0	0,5	0,05	0,06
0,25	282,7	283,1	0,4	0,04	0,09
0,5	285,3	285,8	0,5	0,05	0,14
1,6	488,7	489,4	0,7	0,06	0,20
2	345,9	347,9	2,0	0,18	0,39
2,5	525,7	563,5	37,8	3,48	3,87
3,55	417,2	593,7	176,5	16,26	20,13
4,5	547,1	852,2	305,1	28,11	48,24
5,6	428,0	981,4	553,4	50,99	99,23
8	628,4	636,3	7,9	0,73	99,95
16	460,2	460,2	0,0	0,00	99,95
navážka	1085,4	Celkem	1084,9	Kontrola	<1 %



Graf 3 – Stanovená křivka zrnitosti Rugen 4/8

Tabulka 12 – Stanovení zrnitosti Rugenu 8/16

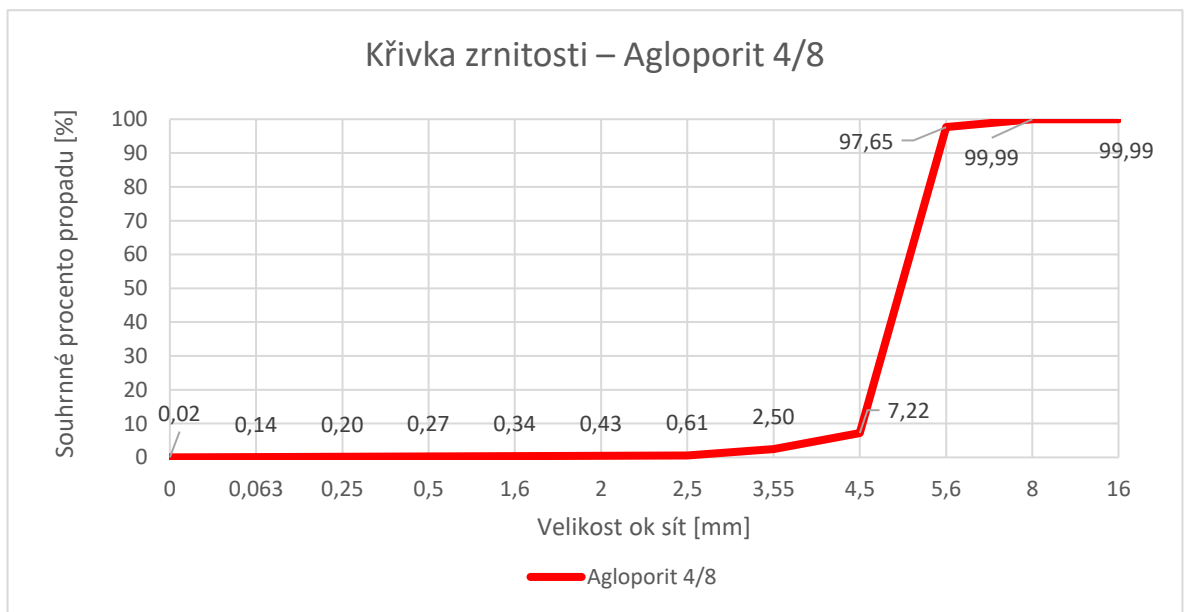
velikost ok sít [mm]	hmotnost síta [g]	hmotnost navážky + síta [g]	hmotnost zachyceného kameniva [g]	procento zbytku na sítu [%]	procentní propad [%]
0	326,8	326,8	0,0	0,00	0,00
0,063	242,5	243,5	1,0	0,10	0,10
0,25	282,7	283,4	0,7	0,07	0,17
0,5	285,3	285,8	0,5	0,05	0,22
1,6	488,7	489,0	0,3	0,03	0,25
2	345,9	346,4	0,5	0,05	0,30
2,5	525,7	526,0	0,3	0,03	0,33
3,55	417,2	417,9	0,7	0,07	0,40
4,5	547,1	549,2	2,1	0,21	0,60
5,6	428,0	517,8	89,8	8,89	9,50
8	628,4	1526,0	897,6	88,89	98,39
16	460,2	475,8	15,6	1,54	99,93
navážka	1009,8	Celkem	1009,1	Kontrola	<1 %



Graf 4 – Stanovená křivka zrnitosti Rugen 8/16

Tabulka 13 – Stanovení zrnitosti Agloporitu 4/8

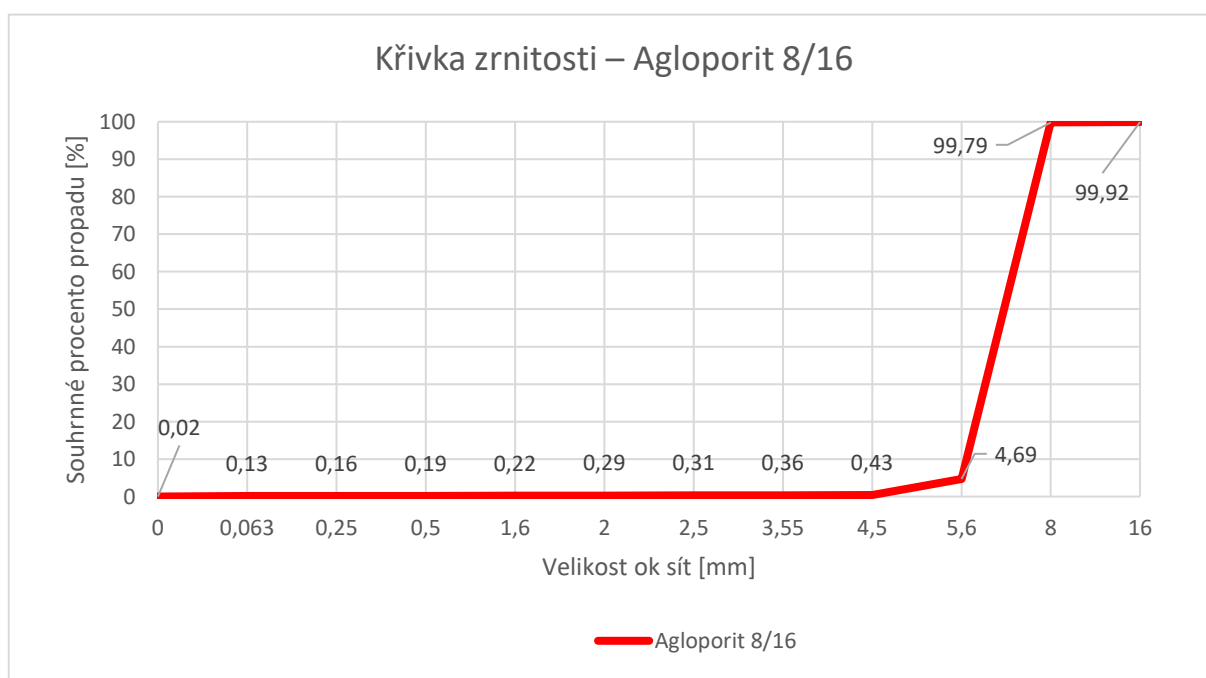
velikost ok síta [mm]	hmotnost síta [g]	hmotnost navážky + síta [g]	hmotnost zachyceného kameniva [g]	procento zbytku na sítu [%]	procentní propad [%]
0	326,8	327,0	0,2	0,02	0,02
0,063	242,5	243,8	1,3	0,13	0,14
0,25	282,7	283,3	0,6	0,06	0,20
0,5	285,3	286,0	0,7	0,07	0,27
1,6	488,7	489,4	0,7	0,07	0,34
2	345,9	346,9	1,0	0,10	0,43
2,5	525,7	527,5	1,8	0,17	0,61
3,55	417,2	436,9	19,7	1,89	2,50
4,5	547,1	596,2	49,1	4,72	7,22
5,6	428,0	1368,1	940,1	90,43	97,65
8	628,4	652,7	24,3	2,34	99,99
16	460,2	460,2	0,0	0,00	99,99
navážka	1039,6	Celkem	1039,5	Kontrola	<1 %



Graf 5 – Stanovená křivka zrnitosti Agloporit 4/8

Tabulka 14 – Stanovení zrnitosti Agloporitu 8/16

velikost ok síť [mm]	hmotnost síta [g]	hmotnost navážky + síta [g]	hmotnost zachyceného kameniva [g]	procento zbytku na sítu [%]	procentní propad [%]
0	326,8	327,0	0,2	0,02	0,02
0,063	242,5	243,7	1,2	0,11	0,13
0,25	282,7	283,0	0,3	0,03	0,16
0,5	285,3	285,7	0,4	0,04	0,19
1,6	488,7	489,0	0,3	0,03	0,22
2	345,9	346,6	0,7	0,06	0,29
2,5	525,7	526,0	0,3	0,03	0,31
3,55	417,2	417,7	0,5	0,05	0,36
4,5	547,1	547,9	0,8	0,07	0,43
5,6	428,0	474,0	46,0	4,25	4,69
8	628,4	1657,5	1029,1	95,10	99,79
16	460,2	461,6	1,4	0,13	99,92
navážka	1082,1	Celkem	1081,2	Kontrola	<1 %



Graf 6 – Stanovená křivka zrnitosti Agloporit 8/16

7.5 Návrh receptury – výpočet

Po stanovení charakteristik kameniva byl proveden návrh složení lehkého betonu, ve kterém byly jako vstupní hodnoty použity naměřené vlastnosti kameniva. Jelikož pro návrh lehkého betonu nejsou stanoveny potřebné vzorce a koeficienty, bylo k návrhu receptury přistoupeno experimentálně. S přihlédnutím na doporučené parametry v tabulce F.1 z normy

ČSN EN 206 +A1 a na požadovanou pevnost betonu byl zvolen počáteční vodní součinitel $w = 0,5$ a množství cementu $m_c = 360$ kg. Následně se dopočítalo množství ostatních materiálů:

- Množství superplastifikátoru m_{sp} bylo dle doporučení výrobce stanoveno na 1 % m_c .

$$m_{sp} = 0,01 * 360 = \mathbf{3,6 \text{ kg}}$$

- Množství vody m_v bylo vypočteno z vodního součinitele w a následně zredukováno o 15 % vlivem použití superplastifikátoru na množství vody po redukci m_{vred} .

$$m_v = m_c * w$$

$$m_v = 360 * 0,5 = \mathbf{180 \text{ kg (I)}}$$

$$m_{vred} = m_v * (1 - 0,15)$$

$$m_{vred} = 180 * (1 - 0,15) = \mathbf{153 \text{ kg (I)}}$$

- Výsledný vodní součinitel po redukci vody w_{red} se vypočítá z množství vody zvětšené o množství superplastifikátoru a z množství cementu.

$$w_{red} = \frac{m_{vred} + m_{sp}}{m_c}$$

$$w_{red} = \frac{153 + 3,6}{360} = \mathbf{0,435}$$

- Čerstvý beton měl být neprovzdušněný, a proto byl obsah vzduchu v čerstvém betonu V_z uvažován 1 %.
- Dále byl vypočten objem cementové kaše V_{ck} :

$$V_{ck} = \frac{V_z}{100} + \frac{m_c}{3100} + \frac{m_{vred}}{1000} + \frac{m_{sp}}{1050}$$

$$V_{ck} = \frac{1}{100} + \frac{360}{3100} + \frac{153}{1000} + \frac{3,6}{1050} = \mathbf{0,283 \text{ m}^3}$$

- Procentuální složení frakcí kameniva bylo zvoleno s ohledem na vhodnou křivku zrnitosti z TKP 18. U obou receptur byl objem písku frakce 0/4 zvolen na 45 %, objem hrubého kameniva 4/8 na 30 % a objem hrubého kameniva frakce 8/16 na 25 %. Celkový objem kameniva V_k byl vypočítán jako doplněk k objemu cementové kaše. [N11]

$$V_k = 1 - V_{ck}$$

$$V_k = 1 - 0,283 = \mathbf{0,717 \text{ m}^3}$$

1. Složení kameniva 1. receptury s kamenivem Rugen

Objem a hmotnost písku 0/4:

$$V_{k\ 0/4} = V_k * 0,45$$

$$V_{k\ 0/4} = 0,717 * 0,45 = \mathbf{0,323 \text{ m}^3}$$

$$m_{k\ 0/4} = V_{k\ 0/4} * \rho_{p\ 0/4}$$

$$m_{k\ 0/4} = 0,323 * 2550 = \mathbf{823 \text{ kg}}$$

kde: $V_{k\ 0/4}$ – objem písku frakce 0/4 [m^3], $m_{k\ 0/4}$ – hmotnost písku frakce 0/4 [kg], $\rho_{p\ 0/4}$ objemová hmotnost písku frakce 0/4 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Objem a hmotnost Rugenu 4/8:

$$V_{kr\ 4/8} = V_k * 0,30$$

$$V_{kr\ 4/8} = 0,717 * 0,30 = \mathbf{0,215 \text{ m}^3}$$

$$m_{kr\ 4/8} = V_{kr\ 4/8} * \rho_{La\ r4/8}$$

$$m_{kr\ 4/8} = 0,215 * 1570 = \mathbf{338 \text{ kg}}$$

kde: $V_{kr\ 4/8}$ – objem kameniva Rugen 4/8 [m^3], $m_{kr\ 4/8}$ – hmotnost kameniva Rugen 4/8 [kg], $\rho_{La\ r4/8}$ objemová hmotnost kameniva Rugen 4/8 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Objem a hmotnost Rugenu 8/16:

$$V_{kr\ 8/16} = V_k * 0,25$$

$$V_{kr\ 8/16} = 0,717 * 0,25 = \mathbf{0,179 \text{ m}^3}$$

$$m_{kr\ 8/16} = V_{kr\ 8/16} * \rho_{La\ r8/16}$$

$$m_{kr\ 8/16} = 0,179 * 1530 = \mathbf{274 \text{ kg}}$$

kde: $V_{kr\ 8/16}$ – objem kameniva Rugen 8/16 [m^3], $m_{kr\ 8/16}$ – hmotnost kameniva Rugen 8/16 [kg], $\rho_{La\ r8/16}$ objemová hmotnost kameniva Rugen 8/16 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Hmotnostní zastoupení jednotlivých frakcí:

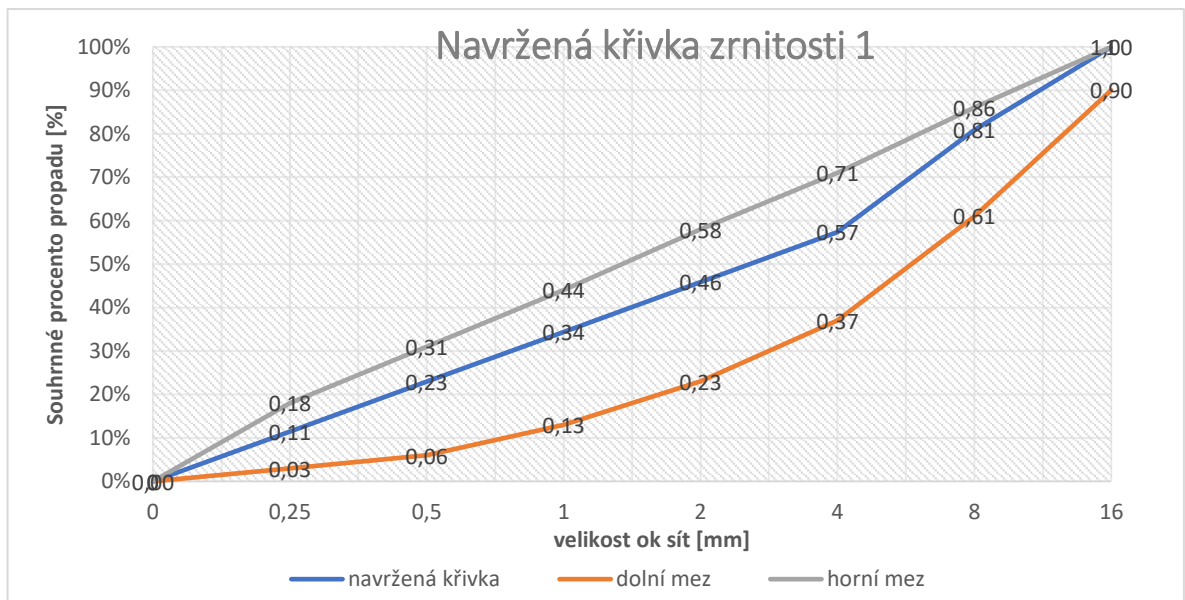
$$m_k = m_{k\ 0/4} + m_{kr\ 4/8} + m_{kr\ 8/16}$$

$$m_k = 823 + 338 + 274 = \mathbf{1435\ kg}$$

$$\text{Procentuální zastoupení frakce } 0/4 = \frac{m_{k\ 0/4}}{m_k} = \frac{823}{1435} = \mathbf{57,35\ \%}$$

$$\text{Procentuální zastoupení frakce } 4/8 = \frac{m_{kr\ 4/8}}{m_k} = \frac{338}{1435} = \mathbf{23,54\ \%}$$

$$\text{Procentuální zastoupení frakce } 8/16 = \frac{m_{kr\ 8/16}}{m_k} = \frac{274}{1435} = \mathbf{19,12\ \%}$$



Graf 7 – Navržená křivka zrnitosti pro 1. recepturu (horní a dolní mez viz [N11])

2. Složení kameniva 2. receptury s kamenivem Agloporit

Objem a hmotnost písku 0/4:

$$V_{k\ 0/4} = V_k * 0,45$$

$$V_{k\ 0/4} = 0,717 * 0,45 = \mathbf{0,323\ m^3}$$

$$m_{k\ 0/4} = V_{k\ 0/4} * \rho_{p\ 0/4}$$

$$m_{k\ 0/4} = 0,323 * 2550 = \mathbf{823\ kg}$$

kde: $V_{k\ 0/4}$ – objem písku frakce 0/4 [m^3], $m_{k\ 0/4}$ – hmotnost písku frakce 0/4 [kg], $\rho_{p\ 0/4}$ objemová hmotnost písku frakce 0/4 [$kg \cdot m^{-3}$]

Objem a hmotnost Agloporitu 4/8:

$$V_{ka\ 4/8} = V_k * 0,30$$

$$V_{k\ 0/4} = 0,717 * 0,30 = \mathbf{0,215\ m^3}$$

$$m_{ka\ 4/8} = V_{ka\ 4/8} * \rho_{La\ a4/8}$$

$$m_{ka\ 4/8} = 0,215 * 1480 = \mathbf{318\ kg}$$

kde: $V_{ka\ 4/8}$ – objem kameniva Agloporit 4/8 [m^3], $m_{ka\ 4/8}$ – hmotnost kameniva Agloporit 4/8 [kg], $\rho_{La\ a4/8}$ objemová hmotnost kameniva Agloporit 4/8 [$kg \cdot m^{-3}$]

Objem a hmotnost Agloporitu 8/16:

$$V_{ka\ 8/16} = V_k * 0,25$$

$$V_{ka\ 8/16} = 0,717 * 0,25 = \mathbf{0,179\ m^3}$$

$$m_{ka\ 8/16} = V_{ka\ 8/16} * \rho_{La\ a8/16}$$

$$m_{ka\ 8/16} = 0,179 * 1530 = \mathbf{285\ kg}$$

kde: $V_{ka\ 8/16}$ – objem kameniva Agloporit 8/16 [m^3], $m_{ka\ 8/16}$ – hmotnost kameniva Agloporit 8/16 [kg], $\rho_{La\ a8/16}$ objemová hmotnost kameniva Agloporit 8/16 [$kg \cdot m^{-3}$]

Hmotnostní zastoupení jednotlivých frakcí:

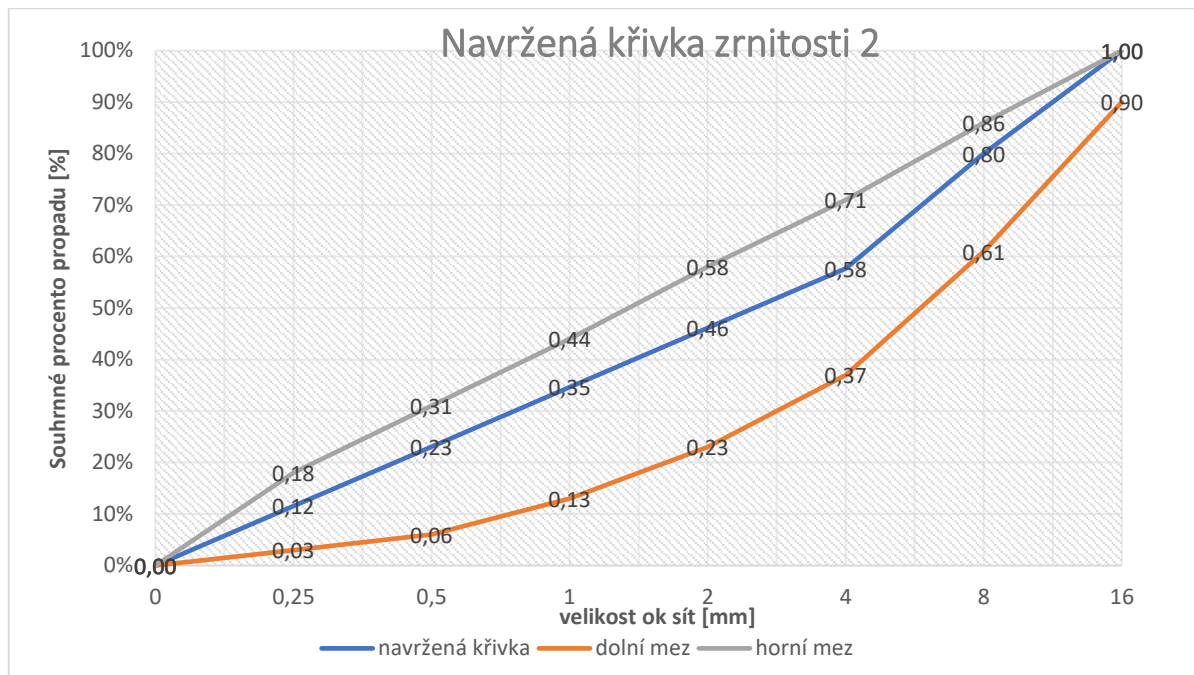
$$m_k = m_{k\ 0/4} + m_{ka\ 4/8} + m_{ka\ 8/16}$$

$$m_k = 823 + 318 + 285 = \mathbf{1426\ kg}$$

$$\text{Procentuální zastoupení frakce 0/4} = \frac{m_{k\ 0/4}}{m_k} = \frac{823}{1435} = \mathbf{57,70\ \%}$$

$$\text{Procentuální zastoupení frakce 4/8} = \frac{m_{ka\ 4/8}}{m_k} = \frac{318}{1435} = \mathbf{22,32\ \%}$$

$$\text{Procentuální zastoupení frakce 8/16} = \frac{m_{ka\ 8/16}}{m_k} = \frac{274}{1435} = \mathbf{19,98\ \%}$$



Graf 8 – Navržená křivka zrnitosti pro 2. recepturu (horní a dolní mez viz [N11])

Výpočet objemové hmotnosti čerstvého a ztvrdlého betonu:

Objemová hmotnost čerstvého betonu $\rho_{\text{čb}}$ se vypočte jako součet hmotností všech složek dávkovaných do 1 m³ betonu. Jelikož bude umělé kamenivo dávkováno nasycené vodou skutečná objemová hmotnost čerstvého betonu se zvýší o hmotnost vody v pórech kameniva.

$$\rho_{\text{čb}} = m_c + m_v + m_k + m_{\text{sp}}$$

Objemová hmotnost čerstvého betonu s kamenivem Rugen:

$$\rho_{\text{čbr}} = 360 + 153 + 3,6 + 1435$$

$$\rho_{\text{čbr}} = \mathbf{1951,6 \text{ kg/m}^3}$$

Objemová hmotnost čerstvého betonu s kamenivem Agloporit:

$$\rho_{\text{čba}} = 360 + 153 + 3,6 + 1426$$

$$\rho_{\text{čba}} = \mathbf{1942,6 \text{ kg/m}^3}$$

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu ρ_b se vypočítá jako součet hmotnosti cementu, vynásobený koeficientem 1,3 a hmotnosti kameniva. Hmotnost cementu se vlivem hydratace zvětší zhruba o 30 %, proto se původní hodnota násobí hodnotou 1,3. [5]

$$\rho_b = 1,3 * m_c + m_k$$

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu s kamenivem Rugen:

$$\rho_{\text{čbr}} = 1,3 \cdot 360 + 1435$$

$$\rho_{\text{čbr}} = 1903 \text{ kg/m}^3$$

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu s kamenivem Agloporit:

$$\rho_{\text{čba}} = 1,3 \cdot 360 + 1426$$

$$\rho_{\text{čba}} = 1894 \text{ kg/m}^3$$

Výsledné návrhy receptur jsou:

Tabulka 15 – Návrh složení receptury s kamenivem Rugen

Složka	Na 1 m ³	Na 30 dm ³
Vodní součinitel	0,435	
Cement	360 kg	10,8 kg
Voda	153 dm ³	4,59 dm ³
Písek 0/4	822,86 kg	24,69 kg
Rugen 4/8	215,13 dm ³	6,45 dm ³
Rugen 8/16	179,27 dm ³	5,38 dm ³
Superplastifikátor	3,6 kg	0,11 kg

Tabulka 16 – Návrh složení receptury s kamenivem Agloporit

Složka	Na 1 m ³	Na 30 dm ³
Vodní součinitel	0,435	
Cement	360 kg	10,8 kg
Voda	153 dm ³	4,59 dm ³
Písek 0/4	822,86 kg	24,69 kg
Agloporit 4/8	215,13 dm ³	6,45 dm ³
Agloporit 8/16	179,27 dm ³	5,38 dm ³
Superplastifikátor	3,6 kg	0,11 kg

Před samotným mícháním je třeba stanovit potřebný objem betonu. Při výpočtu potřebného objemu vycházíme z normové velikosti těles potřebných pro provedení zkoušek ztvrdlého betonu.

Tabulka 17 – Zkušební tělesa

Těleso	Rozměry [mm]	Počet těles	Objem 1 ks [dm ³]	Plánovaná zkouška
Krychle	150x150x150	6	3,375	Požární odolnost 28 dní
Hranol	100x100x400	6	4	Požární odolnost 28 dní
Krychle	150x150x150	3	3,375	Pevnost v tlaku 28 dní
Hranol	100x100x400	3	4	Pevnost v tahu ohybem 28 dní
Válec	Ø150x300	5	5,3	Doplňkové tělesa mimo BP
	celkem	23	92,875	

Minimální objem betonu každé receptury potřebný k naplnění forem je $92,875 \text{ dm}^3$ viz tabulka 17. Tento objem je však nutné zvětšit o ztráty, které nastanou při provádění zkoušek čerstvého betonu. Uvažované množství míchaného betonu bylo tedy stanoveno na 4 záměsi o objemu 30 dm^3 . To znamená že míchaný objem betonu bude 120 dm^3 . Po stanovení potřebného množství betonu byly míchány zkušební záměsi. K míchání jednotlivých záměsí byla použita míchačka s nuceným oběhem, která je pro míchání betonových směsí vhodnější než míchačka spádová.

Postup míchání byl následující. Nejprve byl důsledně promíchán písek s cementem. Když byl písek s cementem dostatečně promíchán do míchačky se přidalo umělé kamenivo a pokračovalo se v míchání. Po 1 minutě byla přidána voda. Za další minutu se přidal superplastifikátor a směs se ještě další minutu míchala. Následně se míchačka vypnula a bylo provedeno ruční promísení suchých složek, které zůstali po okrajích míchačky. Nakonec se směs ještě 0,5 minuty promíchala.

Po procesu míchání následovalo provedení zkoušek čerstvého betonu. Nejprve se provedla zkouška Sednutím. Jestliže byl výsledek zkoušky dobrý následovalo naplnění tlakového hrnce pro zkoušku Obsahu vzduchu. Hrnec byl postupně plněn a současně zhutňován na vibrační stolici. Po naplnění byl hrnec nejprve zvážen a tím byla stanovena Objemová hmotnost čerstvého betonu. Poté následovalo stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu.

Ihned po provedení zkoušek byl beton uložen do připravených forem. Formy byly před ukládáním betonu vytřeny olejem, aby nedošlo k přilnutí betonu na stěny forem a šlo beton lehce odbednit. Ukládání betonu do těchto forem probíhalo postupným plněním na vibrační stolici. Po naplnění bednění byly vzorky označeny a přikryty igelitovou fólií, aby nedocházelo k nadměrnému uvolňování vody z betonu. Po cca 24 hodinách byly vzorky odformovány, označeny a zabaleny do stretch fólie. Označeny byly třemi číslicemi, z nichž první číslice vyjadřuje číslo receptury, druhé číslo záměsí a třetí číslo zkušebního tělesa. Vzorky nebyly ošetřovány ve vodní lázni, ale byly pouze zabaleny do stretch fólie z důvodu zkoušení požární odolnosti betonu po 28 dnech. Pokud by vzorky byly uloženy ve vodní lázni, a tudíž byly plně nasyceny vodou tak při vystavení vysokým teplotám by se voda uvnitř betonu přeměnila v páru a kvůli tomuto jevu by nejspíše vzorky popraskaly a byly znehodnoceny.

7.6 Míchání čerstvého betonu

Celkem bylo namícháno 12 záměsí, z nichž byla záměs číslo 0 a 1 pouze záměsí zkušební a pro výrobu zkušebních těles do bakalářské práce bylo využito 8 záměsí. Ze zbylých 2 záměsí (záměs číslo 4 a 9) byly vyrobeny zkušební vzorky, které ale nebyly dále využity.

7.6.1 Záměs č. 0

Tato záměs byla míchána dle navržené receptury betonu. Použito bylo umělé kamenivo Rugen. Po procesu míchání bylo zřejmé, že byl beton moc tekutý a jeho konzistence nebyla požadovaného stupně S3. Proto byl do této směsi přidán cement o hmotnosti 0,6 kg. Vzniklá směs byla dále označena jako Záměs č. 1.

Tabulka 18 – Složení záměsí č. 0

Složka	Na 1 m ³	Na 30 dm ³
Vodní součinitel	0,435	
Cement [kg]	360,00	10,80
Voda [dm ³]	153,00	4,64
Písek 0/4 [kg]	822,86	24,94
Rugen 4/8 [dm ³]	215,13	6,45
Rugen 8/14 [dm ³]	179,27	5,43
Superplastifikátor [kg]	3,60	0,11

7.6.2 Záměs č. 1

Záměs č. 1 vznikla ze záměsí č. 0 přidáním 0,6 kg cementu. Celkové zvýšení cementu na 1 m³ čerstvého betonu bylo 20 kg. Tato záměs stále nevykazovala konzistenci S3. Důvodem zřejmě bylo zvýšení účinné vody, která vstupovala do směsi na povrchu nasyceného umělého kameniva.

Tabulka 19 – Složení záměsí č. 1

Složka	Na 1 m ³	Na 29,9 dm ³
Vodní součinitel	0,412	
Cement [kg]	381,62	11,40
Voda [dm ³]	153,65	4,61
Písek 0/4 [kg]	826,51	24,80
Rugen 4/8 [dm ³]	215,92	6,43
Rugen 8/14 [dm ³]	179,76	5,39
Superplastifikátor [kg]	3,62	0,11

7.6.3 Záměs č. 2 a 3

Z důvodu povrchové vlhkosti umělého kameniva bylo před mícháním této a všech dalších záměsí nadávkované umělé kamenivo vloženo na 20 minut do pece zahřáté na 60 °C. Dávka vody byla snížena o 0,8 litru a dávka superplastifikátoru snížena o 20 gramů. Tyto úpravy se ukázaly jako výborné. Namíchaná směs byla požadované konzistence S3 a byla zvolena za referenční. U záměsí číslo 2 došlo k doplňkové zkoušce vlhkosti umělého kameniva stanovené v tabulce 21.

Tabulka 20 – Složení záměsí č. 2 a 3

Složka	Na 1 m ³	Na 29,6 dm ³
Vodní součinitel	0,340	
Cement [kg]	385,46	11,40
Voda [dm ³]	128,49	3,80
Písek 0/4 [kg]	855,45	25,30
Rugen 4/8 [dm ³]	223,16	6,60
Rugen 8/14 [dm ³]	185,97	5,50
Superplastifikátor [kg]	2,7	0,08

Tabulka 21 – Vlhkost nasyceného kameniva Rugen

Kamenivo	Číslo vzorku	m ₁ [g]	m ₂ [g]	w [%]
Rugen 4/8	1	272,08	184,79	47,25
	2	278,32	185,73	49,85
	3	248,85	167,12	48,90
Rugen 8/16	4	235,19	149,44	57,38
	5	249,66	158,5	57,51
	6	204,92	130,15	57,45

kde:

- m₁ – hmotnost zkušební navážky [g]
- m₂ – ustálená hmotnost vysušené zkušební navážky [g]
- w – vlhkost [%]

$$w = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} * 100 \text{ [%]}$$

Průměrná vlhkost nasyceného kameniva:

- Rugen 4/8 $w_{r4/8} = \frac{47,25 + 49,85 + 48,90}{3} = \underline{\underline{48,7 \text{ %}}}$

- Rugen 8/16 $w_{r8/16} = \frac{57,38+57,51+57,45}{3} = \underline{57,4\%}$

7.6.4 Záměs č. 4

U této záměsi došlo k experimentálnímu snížení dávky vody o 0,3 litru. Tento experiment však byl po následné úvaze zamítnut z důvodu požadavku všech vzorků totožné receptury. Vzorky z této záměsi byly sice vyrobeny, ale nebyly pro zkoušky použity.

Tabulka 22 – Složení záměsi č. 4

Složka	Na 1 m ³	Na 29,3 dm ³
Vodní součinitel	0,314	
Cement [kg]	389,41	11,40
Voda [dm ³]	119,56	3,50
Písek 0/4 [kg]	864,21	25,30
Rugen 4/8 [dm ³]	225,45	6,60
Rugen 8/14 [dm ³]	187,87	5,50
Superplastifikátor [kg]	2,73	0,08

7.6.5 Záměs č. 5 a 6

Záměs číslo 5 a 6 byla dávkována a míchána totožně jako záměs číslo 2 a 3. Namíchání záměsí proběhlo bez problémů.

Tabulka 23 – Složení záměsí č. 5 a 6

Složka	Na 1 m ³	Na 29,6 dm ³
Vodní součinitel	0,340	
Cement [kg]	385,46	11,40
Voda [dm ³]	128,49	3,80
Písek 0/4 [kg]	855,45	25,30
Rugen 4/8 [dm ³]	223,16	6,60
Rugen 8/14 [dm ³]	185,97	5,50
Superplastifikátor [kg]	2,7	0,08

7.6.6 Záměs č. 7

Záměs číslo 7 byla první záměsí s kamenivem Agloporit. Kamenivo bylo osušeno stejným postupem jako kamenivo Rugen a dávkování jednotlivých složek se použilo stejné jako u záměsí číslo 2,3,5 a 6. Zkouška sednutím však vyšla 90 mm což je horní hranice S2. Po úvaze se upustilo od požadovaného stupně konzistence S3 a tato záměs byla použita pro výrobu zkušebních vzorků. Před požadavek na stupeň konzistence S3 se upřednostnil fakt, že porovnáváme vliv dvou druhů kameniva, a proto by měl být postup výroby i dávkování složek

betonu u směsí s oběma kamenivý totožný. U záměsí číslo 7 došlo k provedení doplňkové zkoušky vlhkosti umělého kameniva stanovené v Tabulce 25.

Tabulka 24 – Složení záměsí č. 7

Složka	Na 1 m ³	Na 29,6 dm ³
Vodní součinitel	0,340	
Cement [kg]	385,46	11,40
Voda [dm ³]	128,49	3,80
Písek 0/4 [kg]	855,45	25,30
Agloporit 4/8 [dm ³]	223,16	6,60
Agloporit 8/14 [dm ³]	185,97	5,50
Superplastifikátor [kg]	2,7	0,08

Tabulka 25 – Vlhkost nasyceného kameniva Agloporit

Kamenivo	Číslo vzorku	m ₁ [g]	m ₂ [g]	w [%]
Agloporit 4/8	1	191,60	147,9	29,55
	2	220,04	169,76	29,62
	3	196,07	151,42	29,49
Agloporit 8/16	4	180,27	142,09	26,87
	5	192,84	151,67	27,14
	6	177,16	140,69	25,92

kde:

- m₁ – hmotnost zkušební navážky [g]
- m₂ – ustálená hmotnost vysušené zkušební navážky [g]
- w – vlhkost [%]

$$w = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} * 100 \text{ [%]}$$

Průměrná vlhkost nasyceného kameniva:

- Agloporit 4/8 $w_{a4/8} = \frac{29,55 + 29,62 + 29,49}{3} = \underline{\underline{29,6 \text{ %}}}$
- Agloporit 8/16 $w_{a8/16} = \frac{26,87 + 27,14 + 25,92}{3} = \underline{\underline{26,6 \text{ %}}}$

7.6.7 Záměs č. 8

Tato záměs byla dávkována shodně jako záměs 7, avšak byla o mnoho tekutější. Zkouškou sednutím se stanovila konzistence S5. Záměs nebyla použita pro výrobu zkušebních těles. Je možné, že došlo k lidskému pochybení při dávkování složek, a proto měla směs takovou konzistenci.

Tabulka 26 – Složení záměsi č. 8

Složka	Na 1 m ³	Na 29,6 dm ³
Vodní součinitel	0,340	
Cement [kg]	385,46	11,40
Voda [dm ³]	128,49	3,80
Písek 0/4 [kg]	855,45	25,30
Agloporit 4/8 [dm ³]	223,16	6,60
Agloporit 8/14 [dm ³]	185,97	5,50
Superplastifikátor [kg]	2,7	0,08

7.6.8 Záměs č. 9, 10 a 11

Tyto záměsi se provedly totožně jako záměs číslo 7, ale byl použit písek, který se v laboratoři nacházel již delší dobu a měl značně nižší vlhkost než písek používaný doposud. Do záměsi bylo dodáno 0,3 litru vody navíc a poté směs prokazovala stejné vlastnosti jako v záměsi číslo 7. Dodatečně byla stanovena vlhkost tohoto písku, která je uvedena v tabulce 28.

Tabulka 27 – Složení záměsí č. 9, 10 a 11

Složka	Na 1 m ³	Na 29,6 dm ³
Vodní součinitel	0,340	
Cement [kg]	385,46	11,40
Voda [dm ³]	128,49	3,80
Písek 0/4 [kg]	855,45	25,30
Agloporit 4/8 [dm ³]	223,16	6,60
Agloporit 8/14 [dm ³]	185,97	5,50
Superplastifikátor [kg]	2,7	0,08

Tabulka 28 – Vlhkost písku do záměsí č. 9, 10 a 11

Kamenivo	Číslo vzorku	m1 [g]	m2 [g]	w [%]
Písek 0/4	1	330,02	329,59	0,13
	2	356,39	355,89	0,14
	3	302,06	301,69	0,12

kde:

- m_1 – hmotnost zkušební navážky [g]
- m_2 – ustálená hmotnost vysušené zkušební navážky [g]
- w – vlhkost [%]

$$w = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} * 100 \text{ [%]}$$

Průměrná vlhkost písku:

- Písek 0/4 $w_{0/4} = \frac{0,13 + 0,14 + 0,12}{3} = \underline{\underline{0,1 \text{ %}}}$

8 ZKOUŠENÍ ČERSTVÉHO BETONU

8.1 Zkouška sednutím

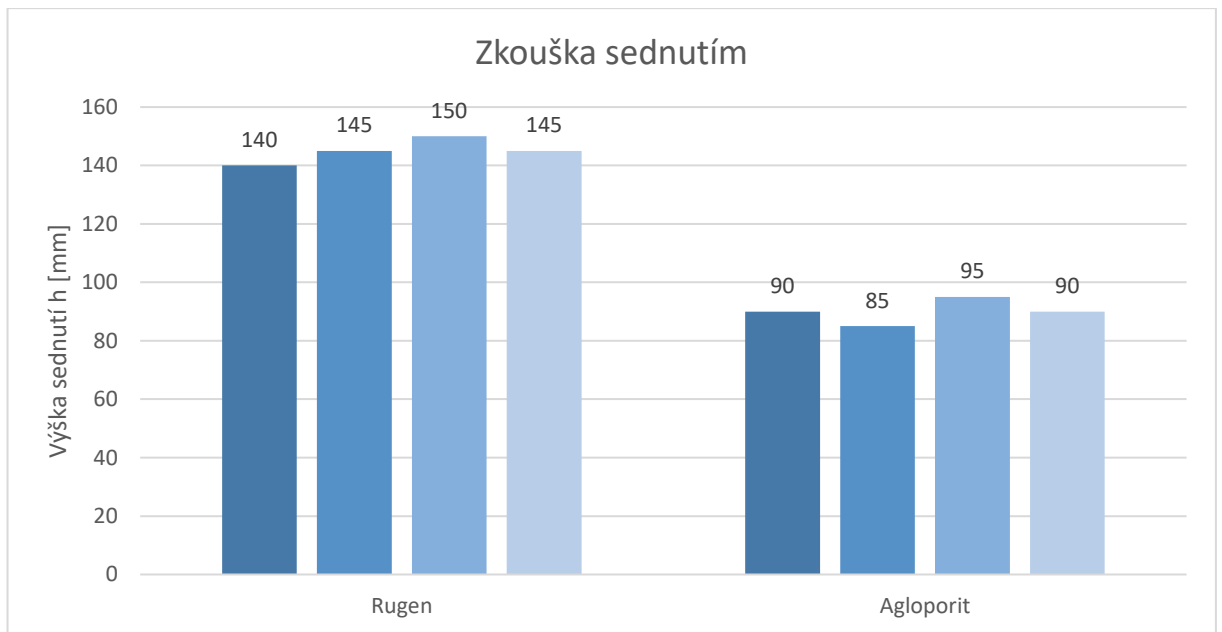
Zkouška sednutím byla provedena na každé záměsi dle normy ČSN EN 12350-2 Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím. Ihned po namíchání záměsi se začal čerstvým betonem plnit předem navlhčený Abramsův kužel, umístěný na navlhčené nenasákavé podkladní desce. Plnění probíhalo postupně, ve třech vrstvách až po okraj. Každá vrstva byla zhutněna 25 rovnoměrně umístěnými vpichy tyčí. Poté se forma plynulým pohybem odstranila a změřilo se sednutí betonu h vůči Abramsovu kuželu. Podle výšky sednutí h se stanovila konzistence betonu. [N12]

Tabulka 29 – Klasifikace konzistence podle sednutí kužele [N1]

Stupeň	Zkouška sednutím podle EN 12350-2 [mm]
S1	10 až 40
S2	50 až 90
S3	100 až 150
S4	160 až 210
S5	≥ 220

Tabulka 30 – Výsledky stanovení konzistence betonu sednutím kužele

Kamenivo	Číslo záměsi	Sednutí h [mm]	Stupeň
Rugen	2	140	S3
	3	145	S3
	5	150	S3
	6	145	S3
Agloporit	7	90	S2
	9	85	S2
	10	95	S3
	11	90	S2



Graf 9 – Zkouška sednutím



Obrázek 8 – Plnění Abramsova kužele [vlastní foto]



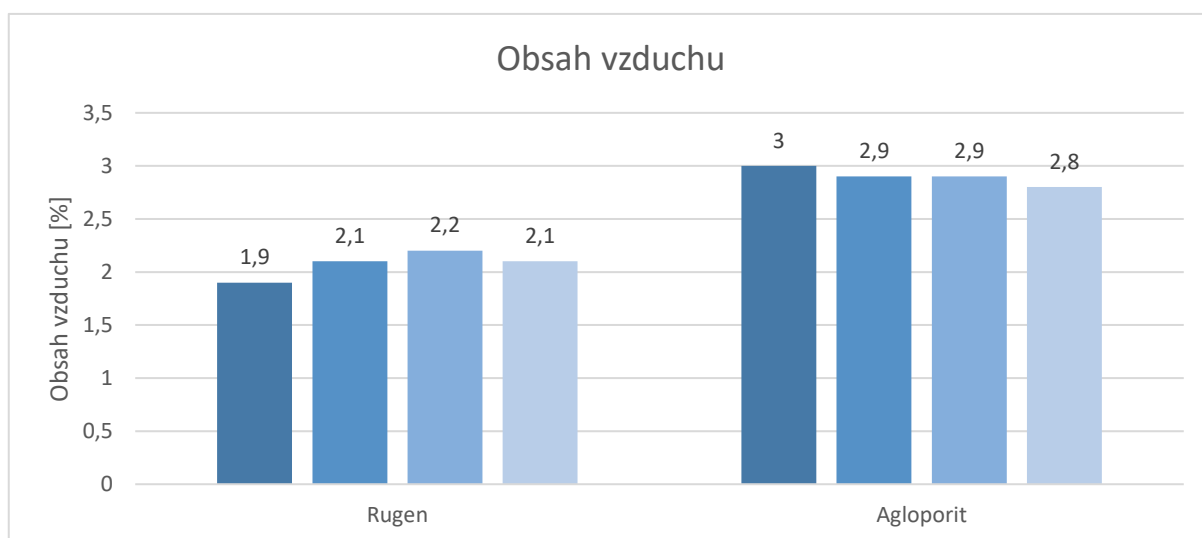
Obrázek 7 – Vyhodnocení zkoušky sednutím [vlastní foto]

8.2 Obsah vzduchu

Obsah vzduchu v čerstvém betonu byl stanoven dle ČSN EN 12350-7 Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody. Nádoba pro zkoušku Obsahu vzduchu byla naplněna vždy ve třech vrstvách, které byly zhučnány na vibračním stole. Povrch se urovnal pomocí hladítka. Na nádobu se poté připevnilo víko pomocí svorek. Následně se otevřely ventily a jedním z nich se nádoba plnila vodou za pomoci stříčky. Při tomto kroku se paličkou poklepávalo na nádobu, aby se odstranily vzduchové bubliny. Když voda vytlačila všechny vzduch nad povrchem betonu začala vytékat druhým ventilem. Poté se uzavřeli oba ventily. Do nádoby se natlačil vzduch a ručička tlakoměru se nastavila na počáteční hodnotu tlakoměru. Při současném poklepávání tlakoměru se přidržel tlačítko testování a z tlakoměru se odečetla hodnota obsahu vzduchu v čerstvém betonu. [N13]

Tabulka 31 – Výsledky stanovení obsahu vzduchu

Kamenivo	Číslo záměsi	Obsah vzduchu [%]	Průměr [%]
Rugen	2	1,9	2,1
	3	2,1	
	5	2,2	
	6	2,1	
Agloporit	7	3,0	2,9
	9	2,9	
	10	2,9	
	11	2,8	



Graf 10 – Zkouška obsahu vzduchu



Obrázek 9 – Zkouška obsahu vzduchu [vlastní foto]

8.3 Objemová hmotnost čerstvého betonu

Objemová hmotnost čerstvého betonu byla stanovena dle ČSN 12350-6 Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost. Nádoba o známém objemu a váze byla naplněna ve třech vrstvách čerstvým betonem. Každá vrstva byla důkladně ztuhněna na vibračním stole. Poté se nádoba s čerstvým betonem zvážila a následně se stanovila objemová hmotnost. [N14]

Tabulka 32 – Výsledky stanovení objemové hmotnosti

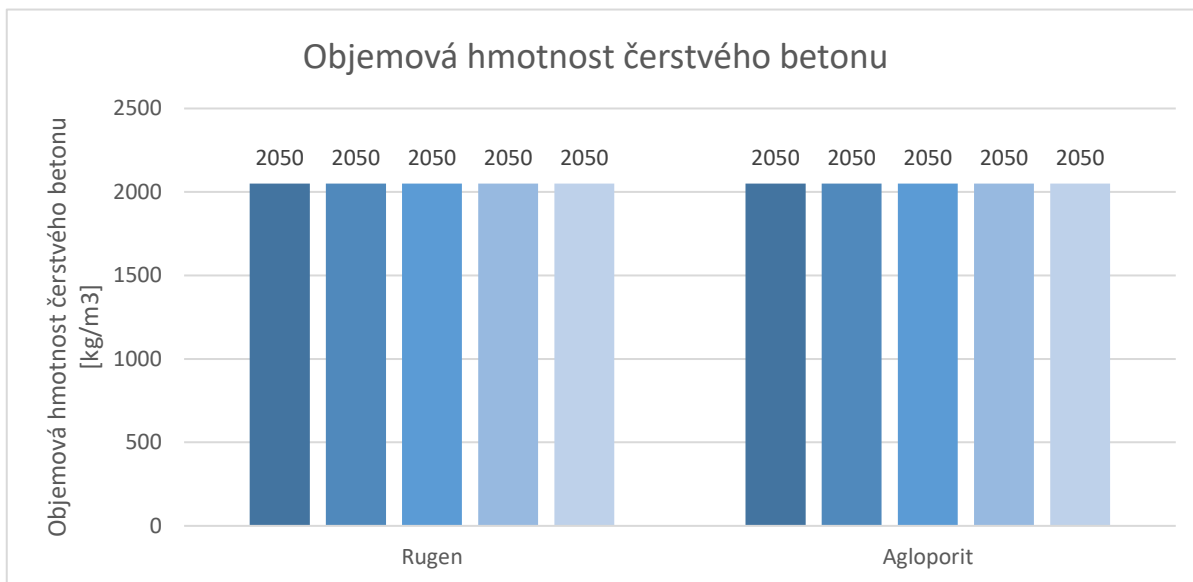
Kamenivo	Číslo záměsi	m_1 [kg]	m_2 [kg]	V [m ³]	$\rho_{\text{čb}}$ [kg/m ³]
Rugen	2	4,320	20,40	0,00786	2050
	3	4,320	20,42	0,00786	2050
	5	4,320	20,42	0,00786	2050
	6	4,320	20,40	0,00786	2050
Agloporit	7	4,320	20,44	0,00786	2050
	9	4,320	20,42	0,00786	2050
	10	4,320	20,44	0,00786	2050
	11	4,320	20,46	0,00786	2050

kde:

- m_1 – hmotnost prázdné nádoby [kg]
- m_2 – hmotnost nádoby naplněné čerstvým betonem [kg]
- V – objem nádoby [m³]
- $\rho_{\text{čb}}$ – objemová hmotnost čerstvého betonu [kg/m³]

$$\rho_{\text{čb}} = \frac{m_2 - m_1}{V} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Výsledná objemová hmotnost čerstvého betonu se zaokrouhlí na nejbližších 10 kg/m³.



Graf 11 – Objemová hmotnost čerstvého betonu



Obrázek 10 – Stanovení objemové hmotnosti čerstvého betonu [vlastní foto]

9 ZKOUŠENÍ ZTVRDLÉHO BETONU

9.1 Objemová hmotnost ztvrdlého betonu

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu byla stanovena dle ČSN EN 12390-7 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu. Tato norma uvádí tři různé způsoby stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu a to: jak bylo dodáno, nasyceno vodou a po vysušení v sušárně. V rámci této práce byla stanovena objemová hmotnost zkušebních těles ve stavu po ukončení ošetřování (jak byly dodané). Z důvodu určení třídy objemové hmotnosti lehkého betonu byla na vybraných vzorcích určena i objemová hmotnost ztvrdlého betonu ve vysušeném stavu. [N15]

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu ve vysušeném stavu byla stanovena změřením skutečných rozměrů, vysušením těles v sušárně do ustálené hmotnosti a zvážením po vychladnutí těles. [N15]

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu byla stanovena ze vztahu:

$$D_s = \frac{m_s}{V}$$

kde:

- D_s – je objemová hmotnost vysušeného ztvrdlého betonu [kg/m^3]
- m_s – hmotnost vysušeného zkušebního tělesa do ustálené hmotnosti [kg]
- V – vypočítaný objem zkušebního tělesa [m^3]

Tabulka 33 – Stanovení objemové hmotnosti vysušeného ztvrdlého betonu

Kamenivo	Vzorek	m_s [kg]	V [m^3]	D_s [kg/m^3]	Průměr [kg/m^3]	Třída obj. hmotnosti
Rugen	1..1.5	5,977	0,003344	1790	1790	D 1,8
	1.4.3	7,193	0,004005	1800		
	1.4.5	5,902	0,003320	1780		
	1.4.6	5,940	0,003330	1780		
Agloporit	2.1.5	6,074	0,003270	1860	1870	D 2,0
	2.1.6	6,109	0,003280	1860		
	2.3.3	7,458	0,003940	1890		
	2.3.5	6,334	0,003380	1880		

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu po ukončení ošetřování byla stanovena změřením skutečných rozměrů a zvážením zkušebních těles. [N15]

Objemová hmotnost ztvrdlého betonu byla stanovena ze vztahu:

$$D = \frac{m}{V}$$

kde:

- D – je objemová hmotnost ztvrdlého betonu [kg/m³]
- m – hmotnost zkušebního tělesa [kg]
- V – vypočítaný objem zkušebního tělesa [m³]

Výsledná objemová hmotnost ztvrdlého betonu se zaokrouhlí na nejbližších 10 kg/m³.

Tabulka 34 – Stanovení objemové hmotnosti betonu s kamenivem Rugen po ukončení ošetřování

Kamenivo	Vzorek	m [kg]	V [m ³]	D [kg/m ³]	Průměr [kg/m ³]
Rugen	1.1.1	8,150	0,004008	2030	2030
	1.1.2	8,113	0,004046	2010	
	1.1.4	6,922	0,003337	2070	
	1.1.5	6,732	0,003344	2010	
	1.1.6	6,860	0,003332	2060	
	1.2.1	8,046	0,004048	2020	
	1.2.3	8,003	0,004013	1990	
	1.2.4	7,004	0,003345	2090	
	1.2.5	6,714	0,003366	1990	
	1.2.6	6,739	0,003341	2020	
	1.4.1	7,955	0,003930	2020	
	1.4.2	8,096	0,003981	2030	
	1.4.3	8,059	0,004172	2010	
	1.4.4	6,715	0,003307	2030	
	1.4.5	6,798	0,003322	2050	
	1.4.6	6,800	0,003329	2040	

Tabulka 35 – Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu s kamenivem Agloporit po ukončení ošetřování

Kamenivo	Vzorek	m [kg]	V [m ³]	D [kg/m ³]	Průměr [kg/m ³]
Agloporit	2.1.1	8,112	0,003977	2040	2020
	2.1.2	8,170	0,004023	2030	
	2.1.4	6,644	0,003306	2010	
	2.1.5	6,700	0,003269	2050	
	2.1.6	6,749	0,003277	2060	
	2.2.1	8,171	0,003996	2040	
	2.2.2	8,172	0,004033	2030	
	2.2.4	6,628	0,003325	1990	
	2.2.5	6,589	0,003317	1990	
	2.2.6	6,665	0,003358	1990	
	2.3.1	8,040	0,003959	2030	
	2.3.2	8,154	0,003995	2040	
	2.3.3	8,201	0,003944	2080	
	2.3.4	6,758	0,003350	2020	
	2.3.5	6,84	0,003378	2020	
	2.3.6	6,612	0,003303	2000	

9.2 Pevnost betonu v tlaku

Pevnost betonu v tlaku byla stanovena dle normy ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles. Pevnost byla stanovena na krychlich o rozměrech 150 x 150 x150 mm. Před samotnou zkouškou byly změřeny skutečné rozměry krychlí tak, že se každá strana krychle změřila 3x a tyto hodnoty se zprůměrovaly. Poté následovalo samotné zkoušení. Zkušební vzorek i dotykové plochy tlačných desek lisu se očistily od nečistot a vzorek se vložil do lisu tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr plnění formy. Následně se těleso plynule zatěžovalo konstantní rychlostí 0,6 MPa/s až do úplného porušení. Při zkoušce se zaznamenalo maximální dosažené zatížení a vizuálně se posoudil způsob porušení. [N16]

Pevnost betonu v tlaku se vypočítala z následujícího vztahu:

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

kde:

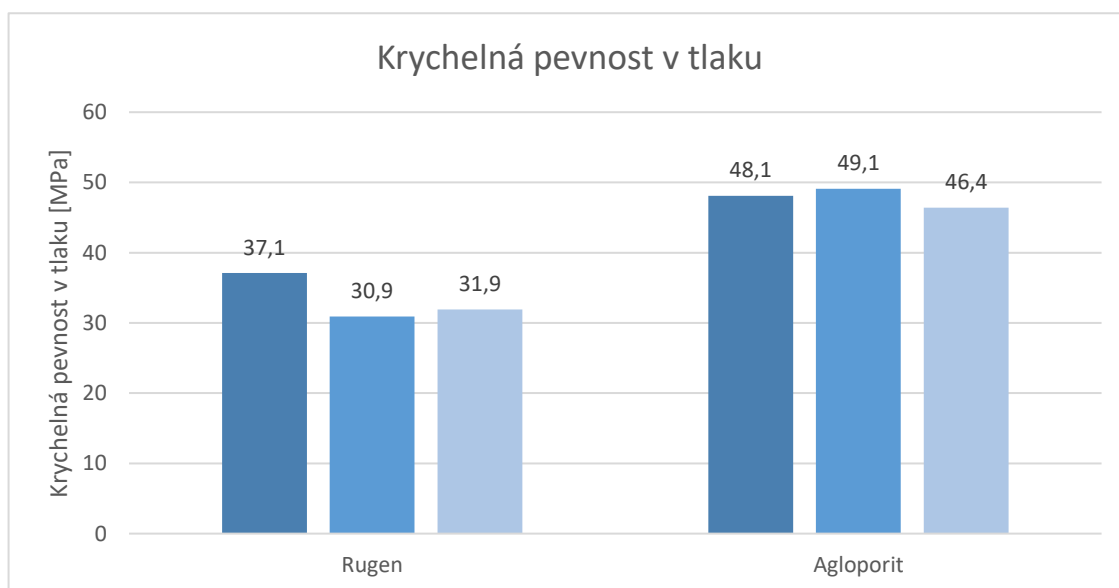
- f_c – je pevnost v tlaku [MPa; N/mm²]

- F – je maximální zatížení při porušení [N]
- A_c – je průřezová plocha zkušební tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku, vypočítaná ze skutečných rozměrů zkušební vzorku [mm²]

Výsledná pevnost v tlaku se zaokrouhlí na nejbližších 0,1 MPa. [N16]

Tabulka 36 – Krychelná pevnost v tlaku

Kamenivo	Vzorek	Plocha A_c [mm ²]	Síla [N]	Pevnost [MPa]	Průměr [MPa]
Rugen	1.1.6	22276	826737	37,1	33,3
	1.2.5	22500	694481	30,9	
	1.2.6	22325	712747	31,9	
Agloporit	2.2.5	22166	1065340	48,1	47,9
	2.2.6	22250	1092784	49,1	
	2.3.6	22146	1028657	46,4	



Graf 12 – Krychelná pevnost v tlaku



Obrázek 11 – Zkoušení betonu (pevnost v tlaku) [vlastní foto]

9.3 Pevnost betonu v tahu za ohybu

Pevnost betonu v tahu za ohybu byla stanovena dle ČSN EN 12390-5 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles. Pevnost byla stanovena na hranolech o velikosti 100 x 100 x 400 mm. Před provedením zkoušky byly změřeny skutečné rozměry hranolů. Výsledné rozměry byly stanoveny jako průměr ze tří naměřených hodnot každé strany. Pevnost byla stanovována pomocí zkušebního lisu se dvěma podpěrnými válečky a dvěma horními zatěžovacími válečky, které jsou kloubově připojeny k příčnému závěsu. Zkušební těleso se nejprve umístilo na podpěrné válečky tak, aby směr zatěžování byl kolmý na směr plnění a vycentrovalo se. Poté se nastavila konstantní rychlost zatěžování na 0,06 MPa/s. Následně se test spustil a těleso se plynule zatěžovalo stanovenou rychlostí až do porušení. Zaznamenalo se dosažené maximální zatížení F , pomocí kterého se vypočítala výsledná pevnost. [N17]

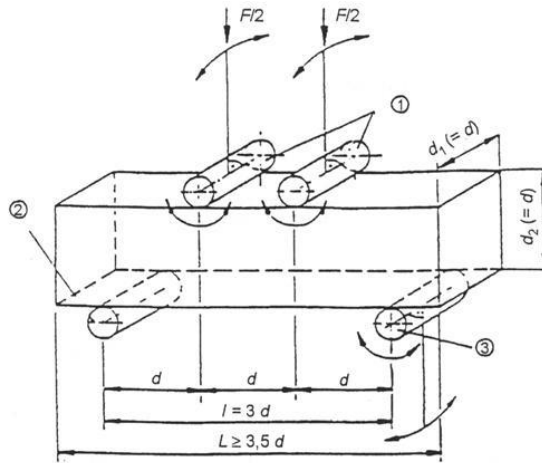
Pevnost betonu v tahu ohybem se vypočítala z následujícího vztahu:

$$f_{cf} = \frac{F * l}{d_1 * d_2^2}$$

kde:

- f_{cf} – je pevnost v tahu ohybem [MPa]
- F – je maximální zatížení [N]
- l – je vzdálenost mezi opěrnými válečky [mm]
- d_1 a d_2 – jsou rozměry příčného řezu tělesa [mm]

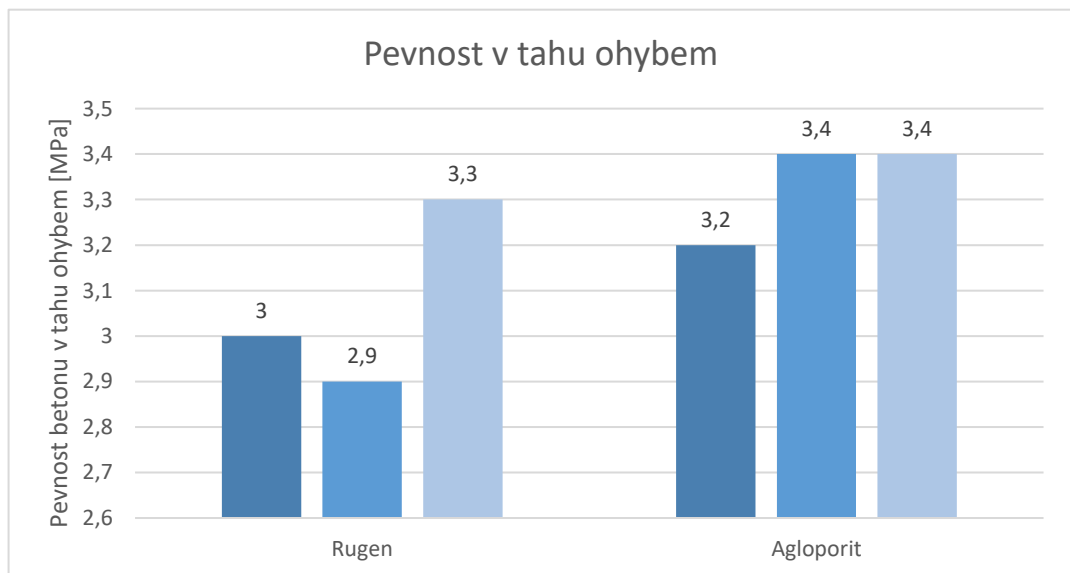
Výsledná pevnost v tlaku se zaokrouhlí na nejbližších 0,1 MPa. [N17]



Obrázek 12 – Uspořádání zkušební tělesa v zatěžovacím lisu [N17]

Tabulka 37 – Pevnost betonu v tahu ohybem

Kamenivo	Vzorek	d_1 [mm]	d_2 [mm]	l [mm]	Síla [N]	Pevnost [MPa]	Průměr [MPa]
Rugen	1.1.2	10,04	10,11	300	10170	3,0	3,1
	1.2.3	10,02	10,00	300	9550	2,9	
	1.4.2	9,99	9,96	300	11021	3,3	
Agloporit	2.1.2	9,92	10,11	300	10895	3,2	3,3
	2.2.2	9,97	10,11	300	11561	3,4	
	2.3.2	10,05	9,92	300	11111	3,4	



Graf 13 – Pevnost betonu v tahu ohybem



Obrázek 13 – Zkoušení betonu (pevnost v tahu ohybem) [vlastní foto]

9.4 Požární odolnost betonu

Zkouška požární odolnosti byla provedena modifikací normy ČSN EN 1363-2 Zkoušení požární odolnosti – Část 2: Alternativní a doplňkové postupy. Zkušební tělesa testovaná na požární odolnost nebyla standartního stáří pro zkoušení požární odolnosti tj. 3 měsíce, ale byla stáří pouze 28 dní od betonáže. Zkušební vzorky byly ošetřovány obalené ve smršťovací fólii po 24 dní od betonáže a poté v laboratorním prostředí (cca 23 °C). Nebylo přistoupeno ke klasickému ošetřování ve vodní lázni, protože by tělesa po vyjmutí z lázně měli vysokou vlhkost a zatížení vysokou teplotou ve stáří 28 dní by nebylo možné. Tělesa však měla i po tomto postupu ošetřování vyšší vlhkost. Vlhkosti jsou uvedeny v Tabulkách 38 a 39. [N18]

Tabulka 38 – Vlhkost při ukončení ošetřování

Kamenivo	Vzorek	m1 [kg]	m2 [kg]	w [%]	Průměr w [%]
Rugen	1.4.5	6,798	5,902	15,18	14,83
	1.4.6	6,800	5,940	14,48	
Agloporit	2.1.5	6,700	6,074	10,31	10,40
	2.1.6	6,749	6,109	10,48	

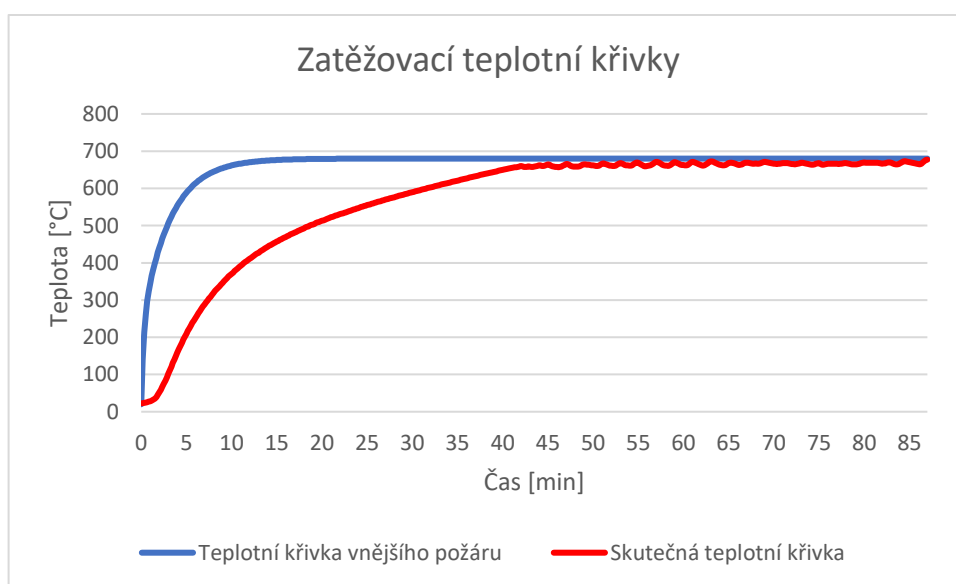
Tabulka 39 – Vlhkost při provedení zkoušky požární odolnosti

Kamenivo	Vzorek	m1 [kg]	m2 [kg]	w [%]	Průměr w [%]
----------	--------	---------	---------	-------	--------------

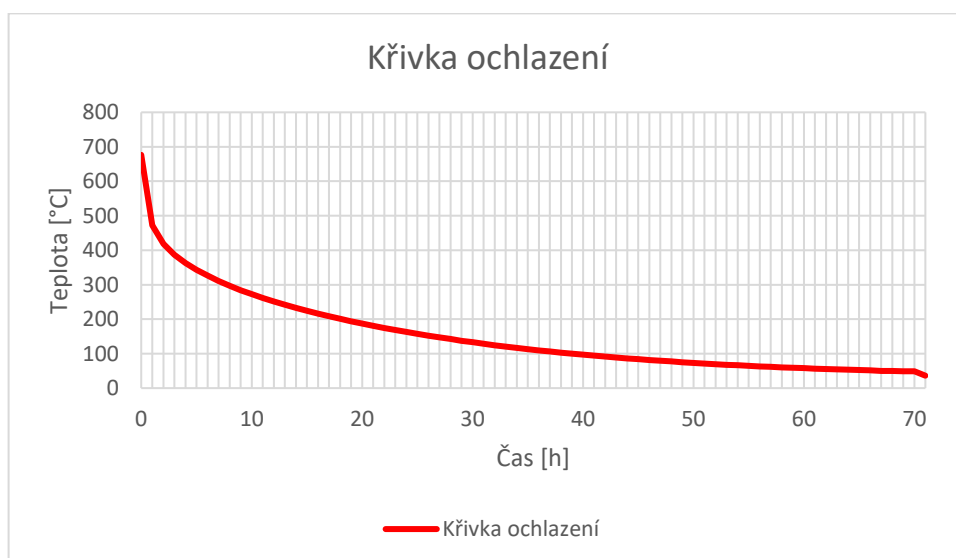
Rugen	1.1.5	6,732	5,977	12,63	12,34
	1.4.3	8,059	7,193	12,04	
Agloporit	2.3.5	6,840	6,334	7,99	8,99
	2.3.3	8,201	7,456	9,99	

Zkušební postup:

Zkušební tělesa byla zatěžována dle teplotní křivky vnějšího požáru ve zkušební elektrické peci BD 800/K. Tato pec však nedokázala dosáhnout požadovaného teplotního nárůstu. Teplota 680 °C nebyla dosažena za požadovaných 20 minut, ale až zhruba za 1,5 hodiny (graf 14). Po dosažení této hodnoty byla pec samovolně ochlazována.



Graf 14 – Zatěžovací teplotní křivky



Graf 15 – Křivka ochlazení

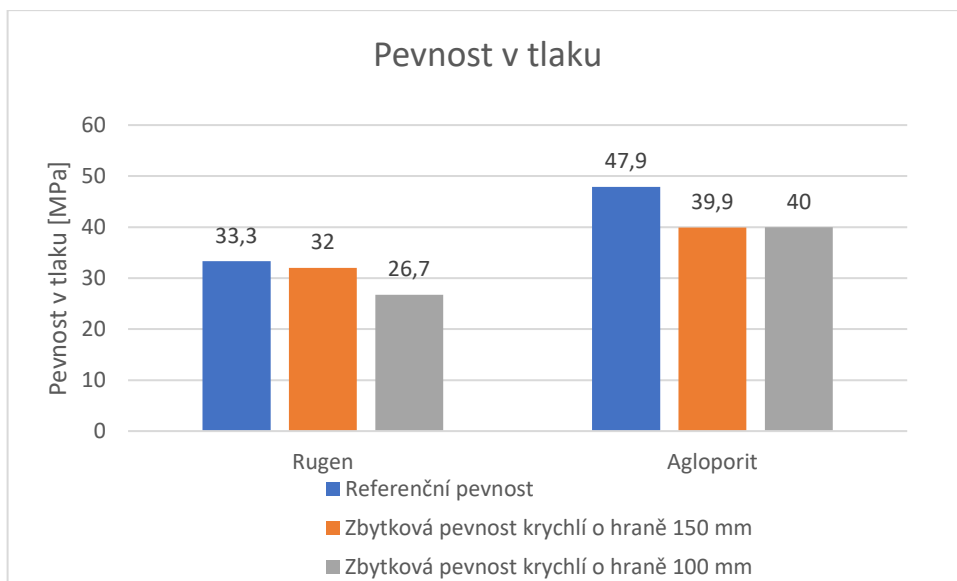
Po vychladnutí zkušebních vzorků, měly být tyto vzorky zkoušeny na pevnost v tlaku a pevnost v tlaku ohybem a následně se tyto pevnosti měly porovnat s pevnostmi referenčních těles. Po otevření pece však bylo zjištěno, že beton zatížený teplotou se při zkoušení v peci odštěpoval. Další zkoušení bylo možné pouze na třech tělesech (krychle). Hranoly byly rozštěpeny celé, nebo byly odštěpeny jejich menší části. Z důvodu zvýšení množství zkušebních vzorků, byly z použitelných částí hranolů nařezány krychle o velikosti hrany 100 mm a zbytková pevnost v tlaku byla zkoušena na nich.

Tabulka 40 – Zbytková pevnost v tlaku krychlí o délce hrany 150 mm

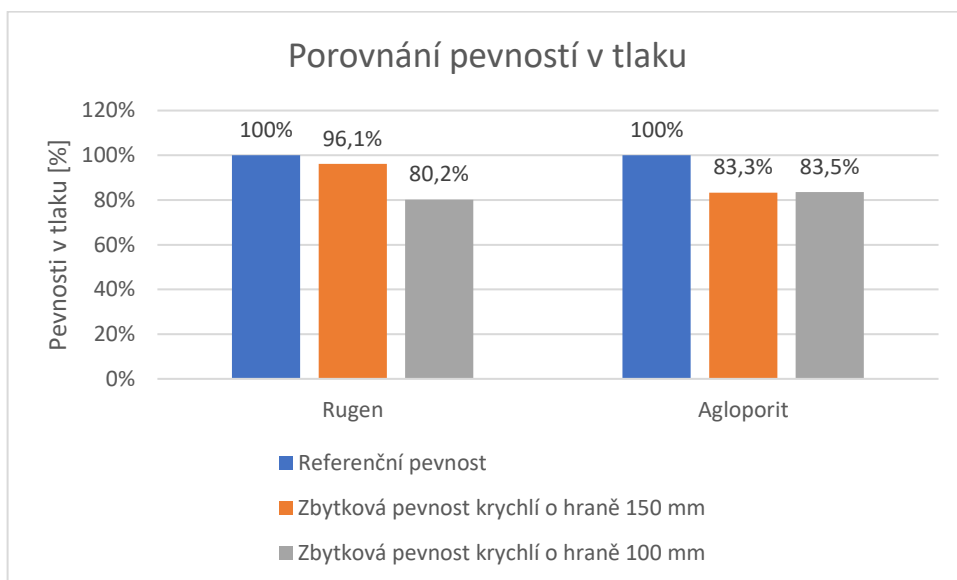
Kamenivo	Vzorek	Plocha Ac [mm ²]	Síla [N]	Pevnost [MPa]	Průměr [MPa]
Rugen	1.1.4	22350	781629	35,0	32,0
	1.4.4	22146	641843	29,0	
Agloporit	2.1.4	22096	879166	39,8	39,9

Tabulka 41 – Zbytková pevnost v tlaku krychlí o délce hrany 100 mm

Kamenivo	Vzorek	Plocha Ac [mm ²]	Síla [N]	Pevnost [MPa]	Průměr [MPa]
Rugen	1.1.1.1	9843	244731	24,9	26,7
	1.1.1.2	9708	255478	26,3	
	1.2.1.1	9503	262596	27,6	
	1.2.1.2	9705	225122	23,2	
	1.4.1.1	9583	271249	28,3	
	1.4.1.2	9306	277251	29,8	
Agloporit	2.1.1.1	9689	366345	37,8	40,0
	2.3.1.1	9830	413672	42,1	



Graf 16 – Porovnání pevností v tlaku



Graf 17 – Procentuální porovnání pevností v tlaku

9.4.1 Fotodokumentace zkušebních vzorků po zatížení teplotou 680 °C



Obrázek 14 – Zkušební těleso 1.1.1 [vlastní foto]



Obrázek 15 – Zkušební těleso 1.2.1 [vlastní foto]



Obrázek 19 – Zkušební těleso 1.4.1 [vlastní foto]



Obrázek 18 – Zkušební těleso 2.1.1 [vlastní foto]



Obrázek 17 – Zkušební těleso 2.2.1 [vlastní foto]



Obrázek 16 – Zkušební těleso 2.3.1 [vlastní foto]



Obrázek 21 – Zkušební těleso
1.1.4 [vlastní foto]



Obrázek 23 – Zkušební těleso
2.1.4 [vlastní foto]



Obrázek 25 – Zkušební těleso
2.3.4 [vlastní foto]



Obrázek 20 – Zkušební těleso
1.2.4 [vlastní foto]



Obrázek 22 – Zkušební těleso
1.4.4 [vlastní foto]



Obrázek 24 – Zkušební těleso
2.2.4 [vlastní foto]



Obrázek 26 – Struktura betonu s kamenivem Rugen [vlastní foto]



Obrázek 27 – Struktura betonu s kamenivem Agloporit [vlastní foto]

10 POUŽITÉ PŘÍSTROJE

10.1 Váhy KERN EW600-2M, KERN DE 60 K 20 a MATEST V073-01

Pro vážení materiálů byly využity tři druhy vah. Největší z nich je váha KERN DE 60 K 20, která váží s přesností 20 g a maximální zatížení je 60 kg. Další váha MATEST V073-01 váží s přesností 1 g a maximální zatížení je 16 kg. Poslední váha je nejpřesnější, váží s přesností na 0,01 g a její maximální zatížení je 600 g.

10.2 Sušička BTM VENTICELL

Pro sušení materiálů byla využívána sušička BMT Venticell, která může sušit při teplotě od 10 do 300 °C. Byla využívána na vysoušení kameniva i ztvrdlého betonu.

10.3 Prosévací stroj RETSCH AS200 basic

Prosévací stroj byl využit při zkoušce zrnitosti kameniva. Na tomto stroji je možné prosévat frekvencí od 10 do 100 Hz. Na časovači je možné nastavit dobu prosévání až 1 hodinu.

10.4 Přenosný teploměr RDXL4SD

Přenosný teploměr byl využit k měření a zaznamenání teploty v peci při zkoušce požární odolnosti ztvrdlého betonu. Záznam dat probíhal na vloženou SD kartu.

10.5 Pec BVD 800/K

Pec pro tepelné zatěžování zkušebních těles je schopna vyprodukovat teplotu až 1350 °C. Je vyrobena roku 1995.

10.6 Zatěžovací lis pro stanovení pevnosti v tlaku

Pro zkoušení pevnosti v tlaku byl použit hydraulický lis Matest C089P262 s řídicí jednotkou Servotronic. Přístroj je schopen vytvořit sílu až 3000 kN.

10.7 Zatěžovací rám pro stanovení pevnosti v tahu ohybem

Pro zkoušku pevnosti betonu v tahu ohybem byl použit lámací rám Matest C089P262 s řídicí jednotkou Servotronic. Maximální síla, kterou je přístroj schopný vytvořit je 150 kN.

10.8 Míchačka s nuceným oběhem

Při výrobě čerstvého lehkého betonu byla použita míchačka s nuceným oběhem. Tato míchačka zvládá s lehkou pomocí namíchat záměs o objemu až 30 litrů.

11 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout dvě receptury lehkého betonu s různými druhy lehkého kameniva a vyzkoušet vliv těchto kameniv na vlastnosti čerstvého a ztvrdlého betonu. Navržené receptury se lišily pouze v objemových hmotnostech čerstvého a ztvrdlého betonu, a to díky rozdílným objemovým hmotnostem umělých kameniv. Jako lehká umělá kameniva byla použita kameniva Rugen a Agloporit. Výrobce kameniva Agloporit udává více než dvojnásobnou pevnost kameniva v tlaku než výrobce kameniva Rugen, a proto byl předpoklad, že i pevnost vytvořeného betonu s kamenivem Agloporit bude vyšší. Při míchání první zkušební záměsi s kamenivem Rugen se ukázalo, že navržený vodní součinitel je příliš vysoký. Požadovanou konzistenci S3 tato záměs nesplňovala (byla příliš tekutá). Tekutost čerstvého betonu byla nejspíše zapříčiněna vodou, která vstupovala do záměsi na povrchu saturovaného lehkého kameniva. Proto došlo k experimentálnímu navýšení množství cementu na $385,46 \text{ kg/m}^3$ (v praxi dávkováno 385 kg/m^3), snížení množství vody na $126,49 \text{ l/m}^3$ (v praxi dávkováno 125 l/m^3) a snížení množství superplastifikátoru na $2,7 \text{ kg/m}^3$. Po těchto úpravách již čerstvý beton byl konzistence S3, a tudíž byly provedeny požadované zkoušky čerstvého betonu a následně naplněny formy pro vytvoření zkušebních těles. První zkušební záměs s kamenivem Agloporit byla míchána totožně jako použitá záměs s kamenivem Rugen. Tato záměs však vykazovala konzistenci S2. Hodnota sednutí Abramsova kužele byla 90 mm, což je horní hranice konzistence S2 blížící se konzistenci S3. Po úvaze byla tato záměs odzkoušena a použita k plnění forem. Od požadované konzistence S3 se upustilo z toho důvodu, že cílem práce bylo porovnat vliv kameniva na vlastnosti lehkého betonu, a proto by bylo výhodné, aby byly obě receptury totožné.

Požadovaná třída objemové hmotnosti ztvrdlého lehkého betonu byla D 2,0. To znamená že objemová hmotnost betonu po vysušení do ustálené hmotnosti měla být v rozmezí od 1801 do 2000 kg/m^3 . Výsledná objemová hmotnost vysušeného betonu s kamenivem Rugen byla 1790 kg/m^3 , což je třída objemové hmotnosti D 1,8 a Výsledná objemová hmotnost vysušeného betonu s kamenivem Agloporit byla 1870 kg/m^3 , což je třída objemové hmotnosti D 2,0. U obou receptur jsme tedy vytvořili lehký beton, ale požadované třídy jsme dosáhli pouze ve vyrobeném betonu z kameniva Agloporit. Vyšší třídy objemové hmotnosti lehkého betonu s kamenivem Rugen by bylo možné v budoucnu experimentálně dosáhnout například snížením dávkovaného objemu tohoto lehkého kameniva.

Ztvrdlý beton byl zkoušen na pevnost v tlaku a pevnost v tahu ohybem. Cílem bylo vytvořit beton s minimální krychelnou pevností 33 MPa. Referenční zkušební tělesa s kamenivem Rugen měla průměrnou krychelnou pevnost v tlaku 33,3 MPa a nejnižší pevnost jedné krychle byla 30,9 MPa. Referenční tělesa s kamenivem Agloporit měla průměrnou krychelnou pevnost v tlaku 47,9 MPa a nejnižší pevnost jedné krychle byla 46,4 MPa. Potvrdilo se, že beton s kamenivem Agloporit má vyšší pevnost v tlaku než beton s kamenivem Rugen. Beton s kamenivem Rugen dokonce nesplnil požadovanou pevnost v tlaku a beton s kamenivem Agloporit jí velmi převyšoval. Pevnost betonu v tahu ohybem byla u obou betonů zhruba totožná. Beton s kamenivem Agloporit měl pevnost v tahu ohybem mírně vyšší (3,3 MPa) než beton s kamenivem Rugen (3,1 MPa).

Na vyrobeném lehkém betonu byla dále zkoušena požární odolnost. Zkušební tělesa byla umístěna do elektrické pece a následně zahřáta dle křivky vnějšího požáru. Zkouška byla provedena netradičně 28 dní od betonáže a ve zkušebních tělesech byla tím pádem vyšší vlhkost (9–12 %). Tělesa podrobená zkoušce požární odolnosti měla být dále zkoušena na pevnost v tlaku a pevnost v tahu ohybem a následně porovnána s vlastnostmi referenčních těles. Při zahřívání zkušebních těles však došlo k explozivnímu odštěpování a pro zkoušku pevnosti v tlaku byla vhodná pouze 3 tělesa tvaru krychle. Pro zkoušku v tahu ohybem bohužel nebylo použitelné žádné těleso. Zbylé použitelné části hranolů byly nařezány na krychle o hraně 100 mm a dále odzkoušeny na pevnost v tlaku. Pevnost betonu zatíženého vysokou teplotou se u betonu s kamenivem Rugen snížila pouze o necelá 4 % a u betonu s kamenivem Agloporit o necelých 17 %. Předpokládané snížení bylo o mnoho větší (20–30 %). V další práci by bylo zajímavé vyzkoušet požární odolnost těchto betonů v normové době tří měsíců od betonáže. Ukázalo by se, zda odštěpování bylo opravdu způsobené vyšší vlhkostí betonu, či nikoli.

Experiment ukázal, že při výrobě lehkého betonu je těžké navrhnout množství účinné vody. Lehké kamenivo má poměrně vysokou nasákavost, a proto je výhodnější dávkovat ho plně nasycené vodou, aby nedošlo ke snížení účinné vody vlivem nasáknutí kameniva dávkovaného v suchém stavu. Při dávkování kameniva nasyceného vodou však nastává problém s povrchovou vlhkostí kameniva a vstoupením další vody z povrchu kameniva do procesu hydratace. Tento problém je nejlepší eliminovat experimentálními zkouškami a dodržováním stejných postupů při každém míchání záměsí. Dalším problémem lehkého kameniva s ohledem na jeho objemovou hmotnost bývá jeho vyplavování. V betonu vyrobeném pro tuto bakalářskou práci se však tento problém nepotvrdil a kamenivo bylo rozmístěno po celém průřezu zkušebních těles rovnoměrně viz obrázky číslo 26 a 27.

Lehký beton je v praxi stále více využíván díky jeho ekonomickým vlastnostem. Výhodou je především nízká objemová hmotnost a s ní spojené nízké náklady na dopravu a možnost provádění staveb na méně únosných zeminách. Dá se předpokládat, že v budoucnu se jeho využití v mostním stavitelství bude postupně rozšiřovat ze Skandinávie do celé Evropy. Dalším možným využitím lehkého betonu by v budoucnu mohly být, z důvodu jeho nízké objemové hmotnosti, prefabrikované lávky pro pěší. Tyto lávky by bylo možné do určité délky přemostění vyrábět kompletně ve výrobnách, poté je přepravovat na místo užití a zde osadit na připravené opěry bez dlouhého přerušení dopravy pod lávkou. Lehký beton je v pozemním stavitelství často využíván jako tepelně-konstrukční beton. Jeho využití je výhodné pro stavbu nízkoenergetických a pasivních domů a jelikož po stavbě těchto domů roste poptávka, dá se předpokládat i rostoucí využití lehkých betonů v pozemním stavitelství.

12 ZDROJE

Literatura a internetové zdroje:

- [1] HUBERTOVÁ, Michala. Lehký beton. *Beton TKS*. 2012, 2012(7), 106-119.
- [2] SVOBODA, L. a kol. Stavební hmoty. 3. vyd. elektronické Praha: Luboš Svoboda, 2013. 950 s. ISBN 978-80-260-4972-2.
- [3] HUBERTOVÁ, Michala. Most rychlostní silnice R6 z lehkého betonu. *Stavebnictví*. 2011, 2011(4), 74.
- [4] TRANSBETON s.r.o.: Lehké betony. *Transbeton* [online]. Brno: TRANSBETON [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.transbeton.cz/o-betonu/technologicky-slovník/lehke-betony>
- [5] HELA, Rudolf. *Technologie betonu: skriptum*. Brno: VUT v Brně, fakulta stavební, 2005.
- [6] DROCHYTKA, Rostislav a Pavla MATULOVÁ. *Lehké stavební látky: skriptum*. Brno: VUT v Brně, fakulta stavební, 2006.
- [7] Výroba cementu. *Ebeton* [online]. Praha: Svaz výrobců betonu ČR [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/vyroba-cementu>
- [8] Co je liapor. *Liapor* [online]. Vintířov: LIAS VINTÍŘOV [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.liapor.cz/co-je-liapor>
- [9] Co je SIOPOR-BETON. *NAGARA s. r. o.* [online]. Olomouc: Nagara [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.liapor.cz/co-je-liapor>
- [10] DER UNIVERSELL EINSETZBARE LEICHTZUSCHLAG AUS BLÄHGLAS. *Poraver* [online]. Schlüsselfeld: poraver [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.poraver.com/>
- [11] Lehké umělé kamenivo určené pro stavebnictví. *AGLOPORIT* [online]. Brno: Svoboda [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://agloporit.cz/lehke-umele-kamenivo/>
- [12] Možnost využívání odpadů z energetiky. *SKUPINA ČEZ* [online]. Plzeň: ČEZ [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/moznosti_6.html

[13] Rugen leták: Lehké umělé kamenivo. *Beton.cz* [online]. Praha: CEMEX Czech Republic, 2015 [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.beton.cz/files/Default/cemex-rugen-letak.pdf>

[14] Kamenivo. *KATEDRA GEOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/kamenivo.html>

[15] PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. 2. vyd. Brno: VUTIUM, 2000. Učebnice (VUTIUM). ISBN 80-214-1647-5.

[16] ŠTEFAN, Radek a Jaroslav PROCHÁZKA. *Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí* [online]. In: Praha: ČVUT v Praze – Fakulta stavební, 2016, s. 1-39 [cit. 2018-05-15].

Dostupné z: http://people.fsv.cvut.cz/~stefarad/vyuka/133PSBZ/133PSBZ_Prednaska_A5.pdf

[17] KUPILÍK, Václav. *Stavební konstrukce z požárního hlediska*. Praha: Grada, 2006. Stavitel. ISBN 80-247-1329-2.

Normy:

[N1] ČSN EN 206 + A1. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018. Třídící znak 73 2403.

[N2] ČSN EN 12620. *Kamenivo do betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Třídící znak 72 1502.

[N3] ČSN EN 1363-1. *Zkoušení požární odolnosti – Část 1: Základní požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. Třídící znak 73 0851.

[N4] ČSN EN 1097-3. *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1999. Třídící znak 72 1194.

[N5] ČSN EN 1097-6. *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Třídící znak 72 1194.

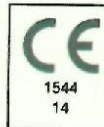
[N6] ČSN 731322. *Stanovení mrazuvzdornosti betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1969. Třídící znak 73 1322

- [N7] ČSN 731326. *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1985. Třídící znak 73 1326.
- [N8] ČSN 731324. *Stanovení obrusnosti betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1972. Třídící znak 73 1324.
- [N9] ČSN EN 1097-5. *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 5: Stanovení vlhkosti sušením v sušárně*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008. Třídící znak 72 1194.
- [N10] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. Třídící znak 72 1193.
- [N11] TKP 18. *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: Kapitola 18 – Betonové konstrukce a mosty*. 4. Praha: Ministerstvo dopravy – Odbor pozemních komunikací, 2016.
- [N12] ČSN EN 12350-2. *Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Třídící znak 73 1301.
- [N13] ČSN EN 12350-7. *Zkoušení čerstvého betonu – Část 7: Obsah vzduchu – Tlakové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Třídící znak 73 1301.
- [N14] ČSN EN 12350-6. *Zkoušení čerstvého betonu – Část 6: Objemová hmotnost*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Třídící znak 73 1301.
- [N15] ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Třídící znak 73 1302.
- [N16] ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Třídící znak 73 1202.
- [N17] ČSN EN 12390-5. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Třídící znak 73 1302.

[N18] ČSN EN 1363-2. *Zkoušení požární odolnosti – Část 2: Alternativní a doplňkové postupy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000. Třídící znak 73 0851.

DOKLADOVÁ ČÁST

Prohlášení o vlastnostech č. 30 Čep./ CPR/2016 podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011



- Identifikační kód výrobku: **Čeperka, frakce 0/4**
Přírodní téžené kamenivo, hornina štěrkokopisek
- Zamýšlené/zamýšlená použití:
Kamenivo pro přípravu betonu pro pozemní stavby, pozemní komunikace a jiné inženýrské stavby
Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch
Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace
- Výrobce: **CEMEX Sand, k.s., Masarykovo nám. 207, 763 61 Napajedla, IČ:479 06 201, tel.: +420 724 808 969, Provozovna ČEPERKA, e-mail: zdena.kocourova@cemex.com**
- Jméno a kontaktní adresa zmocněného zástupce: Karel Zuna, tel.: +420 602 475 313, e-mail: karel.zuna@cemex.com
- Systém posuzování a ověřování stálosti vlastností (AVCP): **Systém 2+**
- Harmonizovaná norma: EN 12620:2002+A1:2008 Kamenivo do betonu, EN 13043:2002/AC:2004 Kamenivo pro asfaltové směsi a povrchové vrstvy pozemních komunikací, letištních a jiných dopravních ploch, EN 13242:2002+A1:2007 Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace
Oznámený subjekt: Qualiform, a.s., Mlaty 6726,642 00 Brno, CZ, oznámený subjekt č. 1544
- Deklarované vlastnosti:

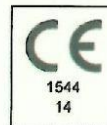
Základní charakteristiky	Vlastnosti (vztahující se na použití podle):			Harmonizované technické specifikace
	EN 12620	EN 13043	EN 13242	
Tvar zrn, frakce a objemová hmotnost				U základních charakteristik a vlastností uvedených ve sloupci: EN 12620 platí odkaz na: EN 12620:2002+A1:2008 EN 13043 platí odkaz na: EN 13043:2002/AC:2004 EN 13242 platí odkaz na: EN 13242:2002+A1:2007
- Frakce kameniva	0/4	0/4	0/4	
- Zrnitost	G _F 85	G _A 90	G _F 85	
- Tolerance pro zrnitost DK a směsi	G _T 15	G _T 10	G _T 10	
- Propad na středním síti HK s D/d > 2	NPD	-	-	
- Propad na středním síti HK s D/d ≥ 2	-	NPD	NPD	
- Tvar zrn hrubého kameniva – tvarový index	NPD	NPD	NPD	
- Tvar zrn hrubého kameniva – index plochosti	NPD	NPD	NPD	
- Procentní podíl drcených a lámaných zrn v HK	-	NPD	NPD	
- Objemová hmotnost	2,568 Mg/m ³	2,568 Mg/m ³	2,568 Mg/m ³	
Čistota				
- Obsah sochránek živočichů v HK	NPD	-	-	
- Obsah jemných částic	f ₅	f ₅	f ₅	
- Kvalita jemných částic	NPD	NPD	NPD	
Afinita mezi hr. kamenivem s asfaltovým pojivem				
- Průměrný stupeň obalení - asfalt 50/70, 70/100	-	NPD	-	
Odolnost proti drcení				
- Odolnost proti drcení metodou LA	NPD	NPD	NPD	
- Odolnost proti drcení rázem	NPD	NPD	NPD	
Odolnost proti otěru/ohladitelnosti/obrusu				
- Odolnost proti otěru HK (mikro-Deval)	NPD	NPD	NPD	
- Odolnost proti ohladitelnosti	NPD	NPD	-	
- Odolnost proti povrchovému obrusu	NPD	NPD	-	
- Odolnost proti obrusu pneumatikami s hroty	NPD	NPD	-	
- Odolnost vůči tepelným šokům	-	NPD	-	
Sloužky/Obsah				
- Sloužky hrubého recyklovaného kameniva	NPD	-	NPD	
- Chloridy	≤ 0,01 % hm.	-	-	
- Sírany rozpustné v kyselině	AS _{0,2}	-	AS _{0,2}	
- Celková síra	Vyhovuje	-	S ₁	
- Obsah vodou rozpustných síramů v recykl. kamenivu	NPD	-	NPD	
- Potenciální přítomnost humusu	Vyhovuje	-	Vyhovuje	
- Obsah lehkých znečišťujících částic	≤ 0,25 % hm.	m _{PC} 0,5	-	
- Obsah oxidu uhličitého v drobném kamenivu	NPD	-	-	
Objemová stálost				
- Objemová stálost-smršťování vysycháním	NPD	-	-	
- Rozpad křemičitanu vápenatého ve VCHVS	NPD	NPD	NPD	
- Rozpad železa ve VCHVS	NPD	NPD	NPD	
- Objemová stálost kameniva z ocelářské strusky	-	NPD	NPD	
Nasákavost	WA ₂₄ ≤ 1,5	-	WA ₂₄ 2	
Nebezpečné látky				
- Emise radioaktivity	Ra 226 ≤ 50 Bq/kg, Index ≤ 1,0			
- Uvolňování těžkých kovů a polyaromatic. uhlovodků	NPD	NPD	NPD	
- Uvolňování jiných nebezpečných látek	NPD	NPD	NPD	
Trvanlivost proti zmrzování a rozmrazování				
- Odolnost proti zmrzování a rozmrazování	NPD	NPD	NPD	
- Zkouška síranem hofečnatým	NPD	NPD	NPD	
Odolnost proti rozpadavosti čediče				
- Odolnost proti rozpadavosti čediče	-	NPD	NPD	
Trvanlivost proti alkalicko-křemičité reakci				
- Odolnost proti alkalicko-křemičité reakci	rozpínavost < 0,10 % D=34,82, S=48,07 mmol/l	-	-	

3. Vlastnosti výše uvedeného výrobku jsou ve shodě se souborem deklarovaných vlastností. Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného výše.
CEMEX - Sand, k.s.
těžba a zpracování štěrku

Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

Ve Starých Ždánicích 30.6.2016	Jméno a funkce	Jiří Dudá, Manažer kvality	Podpis	Masarykovo nám. 207, 763 61 Napajedla IČ: 47906201 DIČ: CZ47906201
--------------------------------	----------------	----------------------------	--------	---

Prohlášení o vlastnostech č. 35/Čep./CPR/2016
podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) č.305/2011



1. Identifikační kód výrobku: **Čeperka, frakce 0/4**
Přírodní těžené kamenivo, hornina štěrkopísek
2. Zamýšlené/zamýšlená použití:
Kamenivo pro malty pro pozemní stavby, pozemní komunikace a jiné inženýrské stavby
3. Výrobce: **CEMEX Sand, k.s., Masarykovo nám. 207, 763 61 Napajedla, IČ:479 06 201, tel.: +420 724 808 969, Provozovna ČEPERKA, e-mail: zdena.kocourova@cemex.com**
4. Jméno a kontaktní adresa zplnomocněného zástupce: Karel Zuna, tel: +420 602 475 313, e-mail: karel.zuna@cemex.com
5. Systém posuzování a ověřování stálosti vlastností (AVCP): Systém 2+
6. Harmonizovaná norma: EN 13139:2002/AC:2004 Kamenivo pro malty
Oznámený subjekt: Qualiform, a.s., Mlaty 672/8,642 00 Brno, CZ,oznámený subjekt č. 1544
7. Deklarované vlastnosti:

Základní charakteristiky	Vlastnosti	Harmonizovaná technická specifikace
Tvar zrn, frakce a objemová hmotnost		EN 13139:2002/AC:2004
- Frakce kameniva	0/4	
- Zrnitost – nadsítné a podsítné	Vyhovuje	
- Typická zrnitost	NPD	
- Hrubost nebo jemnost (propad sítem 0,500 mm)	MP	
- Tvar zrn hrubého kameniva – index plochosti	NPD	
- Objemová hmotnost	2,568 Mg/m ³	
Čistota		
- Obsah schránek živočichů v HK	NPD	
- Obsah jemných částic	Kategorie 1	
- Kvalita jemných částic	NPD	
Složky/obsah		
- Chloridy	≤ 0,01 % hm.	
- Sirany rozpustné v kyselině	AS _{0,2}	
- Celková síra	S ₁	
- Potenciální přítomnost humusu	Vyhovuje	
- Obsah lehkých znečišťujících látek	≤ 0,25 % hm.	
Objemová stálost		
- Látky rozpustné ve vodě (jen pro umělé kamenivo)	NPD	
Nasákavost		
- Nasákavost	WA ₂₄ , 2	
Nebezpečné látky		
- Emise radioaktivity	Ra 226 ≤ 50 Bq/kg Index ≤ 1,0	
- Uvolňování těžkých kovů	NPD	
- Uvolňování polycyklických aromatických uhlovodíků	NPD	
- Uvolňování jiných nebezpečných látek	NPD	
Trvanlivost vůči zmrazování a rozmrazování		
- Odolnost proti zmrazování a rozmrazování	NPD	
- Zkouška síranem hořečnatým	NPD	
Trvanlivost proti alkalicko-křemičité reakci		
- Alkalicko křemičité reakce	rozpínavost < 0,10 % D=34,82, S=48,07 mmol/l	

8. Vlastnosti výše uvedeného výrobku jsou ve shodě se souborem deklarovaných vlastností. Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného výše.

Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

Ve Starých Ždánicích 30.6.2016	Jméno a funkce Jiří Duda, Manažer kvality	 CEMEX - Sand, k.s. též výrobce kameniv štěrkopísku Masarykovo nám. 207, 763 61 Napajedla IČ: 47906201 DIČ: CZ47906201 ①
-----------------------------------	--	---

Technický list

Teplárna Strakonice, a.s. Komenského 59, 386 43 Strakonice

IČ: 60826843 DIČ: CZ60826843

tel.: ústředna: 383 318 111, fax: 383 324 651; e-mail: tst@tst.cz

provoz: info@ekostat.cz, tel: 00 420 602305209

Výrobek: Umělé kamenivo **RUGEN®**

Popis výrobku: Umělé kamenivo **RUGEN®** je lehké umělé kamenivo vyrobené ze směsi popílku Teplárny Strakonice a.s., pojiv a příměsí, přísad a vody. Umělé kamenivo **RUGEN®** je dodáváno v kulovité a nepravidelné/drcené formě. Jeho výhodou jsou pevnost, nízká objemová hmotnost a rychlá nasákavost, která umožňuje výrobek v případě použití do betonu a malt okamžitě aplikovat, beze změny konzistence.

Technické parametry: Umělé kamenivo **RUGEN®**

Druh výrobku	ρ sypná, volná	C_A	frakce
	kg/m ³	(MPa) min.	mm
RUGEN 600	600 ± 50	1,5	0/2; 2/4; 4/8, 8/16
RUGEN 700	700 ± 50	2	0/2; 2/4; 4/8, 8/16
RUGEN 800	800 ± 50	2,5	0/2; 2/4; 4/8, 8/16
RUGEN 900	900 ± 50	3	0/2; 2/4; 4/8, 8/16
RUGEN 1000	1000 ± 50	3,5	0/2; 2/4; 4/8, 8/16

Technické parametry: Umělé kamenivo **RUGEN®** drcené

Druh výrobku	ρ sypná, volná	C_A	frakce
	kg/m ³	(MPa) min.	mm
RUGEN 600 drcené	600 ± 50	1,5	0/2; 2/4; 4/8, 8/16
RUGEN 700 drcené	700 ± 50	2	0/2; 2/4; 4/8, 8/16
RUGEN 800 drcené	800 ± 50	2,5	0/2; 2/4; 4/8, 8/16
RUGEN 900 drcené	900 ± 50	3	0/2; 2/4; 4/8, 8/16
RUGEN 1000 drcené	1000 ± 50	3,5	0/2; 2/4; 4/8, 8/16

Použití: Tento typ umělého kameniva se používá k použití pro výrobu lehkých betonů (lehkých hutných i mezerovitých) a následně pro výrobu široké škály stavebních výrobků (příčkovky, zdící a jiné prvky), u kterých je výhodné snižovat jejich hmotnost.

Součástí hodnocení výrobku z hlediska jeho vlivu na zdraví člověka a na životní prostředí jsou ve spolupráci s odbornými pracovišti v ČR prováděny pravidelné zkoušky sledující obsah stanovených škodlivých látek. V rámci plnění KZP je prováděno hodnocení také na obsah přírodních radionuklidů.

Technický list TL 001

Umělé kamenivo RUGEN®

Vlastnosti kameniva Agloporit udávané výrobcem:

	frakce	objemová hmotnost	pevnost	nasákavost	sypná hmotnost	
					volná	setřesená
	mm	kg/m ³	MPa	%	kg/m ³	
Agloporit	8/16	1150 - 1250	5,0 - 9,0	28 - 32	590 - 680	660 - 760
Agloporit	4/8	1200 - 1250	5,0 - 6,0	28 - 30	591 - 680	630 - 730

[11]



Prohlášení o vlastnostech

č. 1020-CPR-040 019097-15

1. Jedinečný identifikační kód typu výrobku: Portlandský cement EN 197-1-CEM – I 42,5 R
2. Zamýšlené použití nebo zamýšlená použití: Příprava betonu, malty, injektážní malty a jiných směsí pro stavění a pro výrobu stavebních výrobků
3. Výrobce: CEMEX Cement, k.s., Továrni 296, 53804 Prachovice, Česká republika
4. Systém POSV: 1+
5. Harmonizovaná norma: EN 197-1:2011

Oznámený subjekt: Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p., Prosecká 811/76a, Praha 9, NB 1020

6. Deklarované vlastnosti:

Základní charakteristiky	Vlastnosti	Harmonizovaná technická specifikace
Cement pro obecné použití - složení	CEM I	EN 197-1:2011
Pevnost v tlaku (počáteční a normalizovaná pevnost)	42,5 R	
Počátek tuhnutí	splněno	
Nerozpustný zbytek	splněno	
Ztráta žíháním	splněno	
Objemová stálost	splněno	
Obsah síranů	splněno	
Hydratační teplo	splněno	
Obsah chloridů	splněno	

Toto prohlášení o vlastnostech je zpřístupněno na internetové stránce výrobce: www.cemex.cz

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

Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

Karol Czubara

V Prachovicích

dne 18.5.2015

STACHEMENT MM
PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH
Č. 10100113000/1

1. Jedinečný identifikační kód typu výrobku:

EN 934-2: T 3.1/3.2 //59

2. Typ, série nebo sériové číslo nebo jakýkoliv jiný prvek umožňující identifikaci stavebních výrobků podle čl. 11 odst. 4:

Číslo šarže: najdete na obalu výrobku a průvodní dokumentaci

3. Zamýšlené použití nebo zamýšlená použití stavebního výrobku v souladu s příslušnou harmonizovanou technickou specifikací podle předpokladu výrobce:

Superplastifikační přísada do betonu dle EN 934-2+A1:2012

4. Jméno, firma nebo registrovaná obchodní známka a kontaktní adresa výrobce podle čl. 11 odst. 5:

**STACHEMA CZ s.r.o.
Zibohlavý 1
Kolín 280 02**

5. Případně jméno a kontaktní adresa zplnomocněného zástupce, jehož plná moc se vztahuje na úkoly uvedené v čl. 12 odst. 2:

Nebyl ustanoven

6. Systém nebo systémy posuzování a ověřování stálosti vlastností stavebních výrobků, jak je uvedeno v příloze V:

Systém 2+

7. V případě prohlášení o vlastnostech týkajících se stavebního výrobku, na který se vztahuje harmonizovaná norma:

Notifikovaná osoba č. 0921- QDB se sídlem Mainzer Landstraße 55 D-60329 Frankfurt am Main provedla počáteční inspekci v místě výroby a řízení výroby ve výrobním závodě i průběžného dohledu, posuzování a schvalování řízení výroby u výrobce v souladu se systémem 2+ a vydal: Certifikát řízení výroby číslo 0921-CPR-2000.

8. V případě prohlášení o vlastnostech týkajících se stavebního výrobku, pro který bylo vydáno evropské technické posouzení:

Nevztahuje se

9. Vlastnosti uvedené v prohlášení

Základní charakteristiky	Vlastnost	Harmonizované technické specifikace
Obsah chloridových iontů	≤ 0,1 hm.%	EN 934-2
Obsah alkálií	≤ 8 %	EN 934-2
Korozivní vlastnosti	Výrobek obsahuje pouze složky uvedené v EN 934-1:2008 příloha A.1	EN 934-2
Redukce vody (při stejné konzistenci)	Ve zkušební směsi ≥ 12 % ve srovnání s kontrolní směsí	EN 934-2
Pevnost v tlaku (při stejné konzistenci)	Po 1 dnu: Zkušební směs ≥ 140 % kontrolní směsi Po 28 dnech: Zkušební směs ≥ 115 % kontrolní směsi	EN 934-2
Obsah vzduchu v čerstvém betonu (při stejné konzistenci)	Ve zkušební směsi maximálně o 2 objemová % více než v kontrolní směsi	EN 934-2
Zvětšení konzistence (při stejném vodním součiniteli)	Zvětšení sednutí ≥ 120 mm z původních (30 ± 10) mm Zvětšení rozlití ≥ 160 mm z původních (350 ± 20) mm	EN 934-2
Zachování konzistence (při stejném vodním součiniteli)	30 minut po přidání přísady neklesne konzistence zkušební směsi pod hodnotu původní konzistence kontrolní směsi	EN 934-2
Pevnost v tlaku (při stejném vodním součiniteli)	Po 28 dnech: zkušební směs ≥ 90 % kontrolní směsi	EN 934-2
Obsah vzduchu v čerstvém betonu (při stejném vodním součiniteli)	Ve zkušební směsi maximálně o 2 objemová % více než v kontrolní směsi	EN 934-2
Nebezpečné látky	Formaldehyd < 0,1 %	EN 934-2

Pokud byla použita podle článku 37 nebo 38 specifická technická dokumentace, požadavky, které výrobek splňuje:

Nevztahuje se

10. Vlastnost výrobku uvedené v bodě 1 a 2 je ve shodě s vlastností uvedenou v bodě 9. Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce uvedeného v bodě 4.

Podepsáno za výrobce a jeho jménem:

Bc. Martin Váša, výrobní ředitel

Zibohlavý, 1.7.2013

(místo a datum vydání)

 (1)
stachema
STACHENA CZ s.r.o.
Zibohlavý 1, 280 02 Kolin
IČ 46353747 DIČ CZ46353747

(podpis)