



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**OPTIMALIZACE SKLADBY KAMENIVA S MAX.
ZRNEM 22 mm PRO TRANSPORTBETONY**

OPTIMIZATION OF AGGREGATE COMPOSITION WITH MAX. GRAIN 22 mm FOR
CONCRETES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lubomír Opat

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lubomír Opat
Název	Optimalizace skladby kameniva s max. zrnem 22 mm pro transportbetony
Vedoucí práce	prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

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

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

PODKLADY A LITERATURA

- internetové zdroje z tuzemských a zahraničních konferencí, odborných časopisů a knih
- diplomové práce publikované na VUT FAST za posledních 5 let
- tuzemské a zahraniční odborné časopisy

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Pro oblast transportbetonů se většinou používá kamenivo s max. zrnem 16 mm, výsledný poměr míchání frakce se navrhuje nejčastěji podle Fullerovy rovnice. Využívání max. zrna 22 mm je často omezováno nevhodným tvarovým indexem kameniva a požadavky na čerpatelnost betonů. Ovšem zabudování kameniv frakce 11-22 o vyšším objemu než je dáno Fullerovou rovnicí může přinést výrazně vyšší pevnosti betonů a statické moduly pružnosti, což vyvolá menší deformace konstrukcí či možnosti snížení procenta vyztužení. Tyto aspekty přináší vždy ekonomické přínosy.

V teoretické části bakalářské práce popište vlivy křivek zrnitosti, velikosti max. zrna kameniva a tvarových indexů na vlastnosti čerstvých a zejména mechanické vlastnosti zatvrdlých betonů. Zohledněte i požadavky na čerpatelné betony, a dopada na tzv. bleeding. Popište další matematické modely pro mísení frakcí kameniva, kromě v ČR používané Fullerovi a EMPA I rovnice.

V praktické části navrhnete receptury betonů třídy C25/30 a C35/45, konzistence S3 s hrubým kamenivem drceným z lokality Olbramovice a těženým z lokality Žabčice či Tovačov. Navrhnete různé křivky zrnitosti pro směsi kameniva s frakcí 0-4, 4-8, 8-16 a 11-22 či přetržité křivky bez frakce 4-8. Pro konst. dávku cementu a vody otestujte vlivy na konzistenci a pevnosti po 7 a 28 dnech, případně dynamické moduly pružnosti, ověřte čerpatelnost či náchylnost k bleedingu.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

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

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá problematikou návrhu křivek kameniva, procentuálního zastoupení jednotlivých roztríděných frakcí kameniva v receptuře betonové směsi. Objasňuje vznik a původ druhů kameniv do betonu, z jejich matečných hornin.

V praktické části je pak namícháno devět receptur, ve kterých jsou dvě namíchány s maximálním zrnem 16 mm, zbylých sedm se zrnem 22 mm. Jsou příkladem drobných křivek anebo směsí s hrubou křivkou. Při použití kamenného odprašku, nebo drceného drobného kameniva.

KLÍČOVÁ SLOVA

Beton, návrh, návrh betonu, receptura betonu, křivky kameniva, křivka zrnitosti, zrnitost, filler, Fuller, Bolomey, EMPA

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the issue of aggregate curve design, proportional representation of the individual separated aggregate sizes in the formula for concrete mixture. It clarifies the origin of aggregate types, from their mother rocks. It describes tests on aggregates, including the test of the shape suitability. In the practical part, there are nine formulas, two of them mixed with the maximum grain size of 16 mm, seven with the grain size of 22 mm. They are instances of fine curves or mixture of coarse curve. Aggregate dust or crushed fine aggregate was also used.

KEYWORDS

Aggregate natural aggregate, all-in aggregate, filler aggregate, aggregate size, grading Fuller, Bolomey, EMPA

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Lubomír Opat,

Optimalizace skladby kameniva s max. zrnem 22 mm pro transportbetony.

Brno, 2018. 81 stran, 4 strany příloh.

Bakalářská práce.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební,

Ústav technologie stavebních hmot a dílců.

Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

PROHLÁŠENÍ

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

Dále prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je obsahově shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 28. 5. 2018

Lubomír Opat
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

V tomto odstavci bych chtěl poděkovat zejména panu prof. Ing. Rudolfovi Helovi, CSc. za odborné a pedagogické vedení a cenné rady a trpělivost, které se mi během zpracování bakalářské práce dostávalo. Dále bych chtěl poděkovat všem zaměstnancům Ústavu technologie stavebních hmot a dílců FAST VUT Brno, kteří mi se zpracováním bakalářské práce pomohli. Dále také přítelkyni a rodině za zázemí při tvorbě práce.

Obsah	
ÚVODNÍ SLOVO	- 10 -
1. ÚVOD	- 11 -
2. HORNINY	- 12 -
2.1 Tabulka hornin	14
3 VŠEOBECNÉ POŽADAVKY A VĚCI O KAMENIVU	- 16 -
3.1 Rozdělení dle velikosti	- 16 -
3.2 Návrh receptury	- 18 -
3.2 Posouzení vhodnosti kameniva	- 27 -
3.3 Norma ČSN EN 12620+A1, Z2 „Kamenivo do betonu“	- 29 -
3.4 Stanovení pevnosti v tlaku	- 33 -
3.5 Statistický náhled na hodnocení výsledků pevnosti	- 33 -
3.1 Moduly pružnosti	- 35 -
3.2 Zkouška na zjištění modulu pružnosti	- 36 -
3.3 Stanovení modulu pružnosti v tahu za ohybu	- 38 -
4 POPIS LOKALIT POUŽÍVANÝCH KAMENIV	- 38 -
4.1 Drcené kamenivo Luleč	- 38 -
4.2 Hrubé drcené z Olbramovic	- 41 -
4.1 Drobné těžené kamenivo Bratčice a Žabčice	- 44 -
PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE	46
5 ZKOUŠKY VSTUPNÍCH SUROVIN	46
5.1. Zkoušky objemů směsí kameniv	47
5.2 síťové rozbory vybraných kameniv.....	49

5.1	Zkoušky tvaru a tvarového indexu	49
6	POPIS RECEPTUR.....	- 51 -
6.1	Receptury referenční	- 52 -
6.2	RECEPTURA S PŘETRŽITOU KŘIVKOU	- 57 -
6.3	RECEPTURY S KAMENIVEM LULEČ 0/2	- 59 -
6.4	RECEPTURY S KAMENNÝMI ODPRAŠKY.....	- 61 -
6.5	Receptury s použitím $D_{\max} 16$ mm	- 64 -
7	SHRnutí VÝSLEDKŮ	- 68 -
7.1	Mezerovitosti kameniva	- 68 -
7.2	Křivky zrnitosti záměsí.....	- 68 -
7.3	Přehled objemových hmotností	- 69 -
7.4	Pevnosti v tlaku	- 71 -
7.5	Moduly pružnosti	- 73 -
	ZHODNOCENÍ POZNATKŮ.....	- 75 -
	POPIS OBJEKTŮ A POUŽITÉ ZDROJE	- 76 -
8	OBRÁZKY A TABULKY	- 76 -
9	POUŽITÉ ZDROJE A LITERATURA.....	- 79 -

ÚVODNÍ SLOVO

Beton projektant považujeme za stavivo na stavbě. Kamenivo technolog považuje za stavivo v betonu. Beton, pokud je v konstrukci použit, má rozličné funkce. Je od něj očekáváno splnění různých úkolů. A má-li je splnit, musí být vlastnosti surovin minimálně takové, jaké jsou pro daný účel nutné.

1. ÚVOD

Podmínka splnění očekávaných vlastností betonu bude splněna, postaráme-li se o řádnou kvalitu vstupních surovin.

Beton poté šetrným transportem převezeme na místo uložení, pumpou na beton vyčerpáme do místa uložení. Následně je nutné beton dostatečně zhutnit, aby měl prvek co nejmenší obsah vzduchu. Po uložení betonu je nutné ho řádně ošetřovat po dobu odvislou od klimatických podmínek. Péče o hotovou konstrukci by také neměla být ponechána osudu - ochrana nátěry, sanace, případně dodatečné vyztužení při adaptaci konstrukce.

Každý z těchto kroků by měl být v souladu s požadovanými vlastnostmi betonu, přičemž je nutné o nich rozhodovat společně, neboť navzájem na sebe působí. Aplikace stavebních opatření a posuzování, nebo výběr složek se odehrávají na základě výzkumů, střednědobého pozorování a praxe na stavbách. Výzkumy prováděné v laboratořích jsou přednější v tom, že je zde možnost podrobného sledování vybrané vlastnosti nebo vlivu některých okolností odděleně od ostatních. Zdálo by se, že toto je ideál, ale ve skutečnosti se laboratorní výsledky obtížně porovnávají s výsledky z praxe [1].

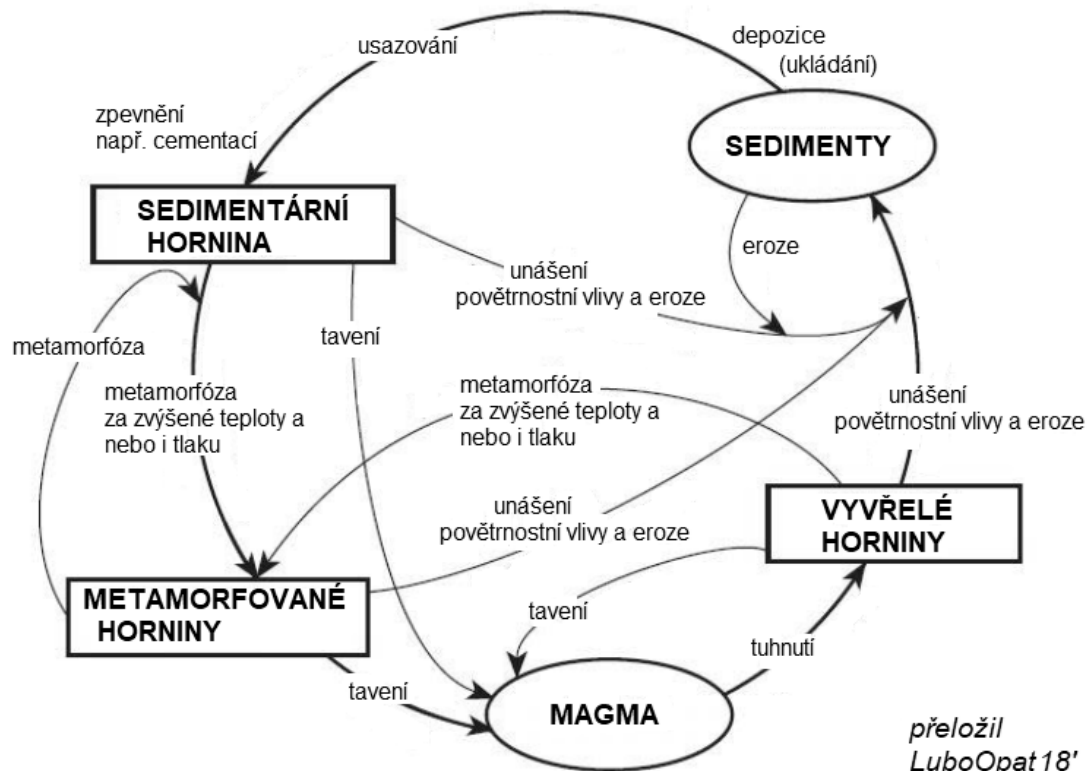
Pevnosti zjištěné z provedených zkoušek se musí zanést do statistického přemýšlení. Zkoušky záměsí provedené v laboratoři z jedné záměsi nelze považovat za hodnoty, dle kterých se bude beton zatřídovat do pevnostních tříd. A tedy nelze jednoduše tyto směsi aplikovat na stavby, vydávat je za minimální pevnostní třídu a tu prodat odběrateli. Tedy jinak řečeno, zkoušky a zatřídění sledovaná touto bakalářskou prací budou mít vypovídající hodnotu až tehdy, budou-li ověřeny několika měsíčním zkoumáním a ověřováním těchto výsledků. Za výsledky v tomto smyslu považuji vzorky betonů - krychlí nebo válců, odebraných od ústí pumpy, tj. po čerpání. Velmi vhodné by bylo provedení nedestruktivních (například ultrazvukových) metod zkoušení na hotových konstrukcích. Aby tyto metody byly relevantní, je nutné je spojit

s odebráním jádrových vývrtů, nebo alespoň maloprůměrových vývrtů. Tyto výsledky ze staveb, budou-li porovnány se směsmi míchanými v laboratorních podmínkách, lze je předpokládat za vypovídající. A to za podmínky statisticky vhodného počtu opakování. {Toto statistické hodnocení bude dále teoreticky rozebráno v kapitole „pevnost betonu v tlaku“.}

2. HORNINY

Zrna z různých lokalit mají různé chemické složení, to se odvíjí od horninových minerálů, které tvoří matečnou horninu. Horniny se dělí na magmatické - vyvřelé; sedimentární - usazené; nebo metamorfované - přeměněné. Ty vyvřelé jsou vyvřelé do útvarů, které vidíme zjednodušeně v krajině například jako vrchy a nebo jsou vyvřelé jako podpovrchové plutony. Usazené s jistotou nalezneme v okolí řek, a to do vzdálenosti řádově až 50 kilometrů. Přeměněné poté svým názvem značí, že vznikly přeměnou z vyvřelých, nebo usazených hornin. Horninový cyklus ilustruje obrázek.

Cyklus hornin v zemské kůře



Obrázek 1: cyklus hornin v zemské kůře [2]

Mnohé vlastnosti kameniva pochází z jeho mateřské horniny. Fyzikální a mechanické vlastnosti, jakými jsou měrná hustota, pevnosti, tuhost, tvrdost, propustnost a struktura pórového systému. Původ kameniva je tedy velmi důležitý.

Samotné skalní mocnosti se skládají z různých minerálů, jsou prostoupeny žilami jiných minerálů, které vyplňují například zlomy vzniklé puknutím již utuhlé masy obklopené horniny. Samotné skály jsou složeny z minerálů běžně se vyskytujících a jsou definovány svou krystalickou strukturou. Popisuje je norma ČSN EN 932-3 "Postup a názvosloví pro jednoduchý petrografický popis", případně v USA je definuje norma ASTM C294 - "Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates"

2.1 Tabulka hornin

Následující tabulka uvádí vznik a rozlišující vlastnosti vzniku kameniv používaných v betonech.

Děle- -ní	Název	Proces vytvoření	Rozlišující vlastnosti a předurčené vlastnosti	Typy hornin pro kamenivo do betonu
<p>Vyvěřelé horniny vzniklé utužením /nejen silikátové/ roztavené horniny, v podobě tekutého magmatu. Přičemž útvar je masivní, tvoří vnitřní konstrukci kopce. Charakteristiky jsou tedy závislé na rychlosti a průběhem utužení, přítomnými tlaky. Nasycení oxidem křemičitým /SiO₂/ může být nedotčené, nasycené, nebo přesycené. Přesycení způsobuje vznik volného křemene, zatímco v nasycených a nedosycených není přítomen žádný volný křemen. Kyselost horniny je dána obsahem SiO₂ v hornině.</p> <p>Kyselé magmatické horniny mají > 65 % SiO₂, středně kyselé pak 55-65 % SiO₂ a základní vyvěřelé horniny obsahují méně než 55 % SiO₂</p>				
A	Vyvěřelé jemně zrnité horniny	vyvěřelé na zemský povrch /extruzivní/, kde rychle utuhly a minerály jsou částečně krystalizovány	Částečná krystalizace poskytuje kameny, které jsou směsí krystalických složek a sklovitého/amorfního materiálu. Velmi rychlé chlazení může mít zcela skelný nebo sklovitý vzhled skal. Sklovitá část má obvykle vyšší obsah oxidu křemičitého než krystalická část, a proto může být nebezpečná možnost alkalické koroze /ASR/ vedoucí ke škodlivým reakcím s produkty hydratace cementu v betonu. Textura je obecně kompaktní nebo skelná a jednotlivé krystaly nelze rozlišovat pouhým okem. Obvykle obsahují vezikuly /dutiny od uniklé páry a jiných unikajících plynů/, které mohou být prodlouženy směrem toku lávy. Pokud množství uzavřených pórů je nadměrné, skála se může objevit v podzemí jako pěnové sklo. Lávové horniny, které mohou velmi obsahovat oxid křemičité sklo jsou obsidián, pemza, trachyte, ryolit, čedič, andezitu a perlit.	Rhyolit Felsite Trachyt Andezit Čedič Skleněná vulkanická: Obsidian Perlit Pemza a další
B	povrchně vyvěřelé horniny - středně vykrystalizované /hypabyzální/ horniny	vznik v překryvných hornin a k vytvoření prahů, hrází a lakolitů /podzemního útvaru s přívodem/dajkou// Ke chlazení dochází pomalu/pozvolně a pod velkým tlakem.	Krystalizace minerálních hornin je obecně kompletní, zrnitost závisí na délce chlazení a na tlaku. Na horním konci se tyto horniny stupňují do vulkanického stavu skály; na spodním konci se stupňují do plutonické skály. Textury jsou proto variabilní, od jemné krystalické až středně zrnité (zrnitost 1 až 5 mm).	Mikrogranit Granopyr Diabas Dolerit

C	Plutonické /intruzivní/ hrubozrnné horniny	Vznikly ve velké hloubce pod zemským povrchem, kde došlo k vytvoření "plutonů". Ty chladnou velmi pomalu a pod velkým tlakem.	Kamenné minerály jsou plně krystalizovány, s malým nebo žádnou skelnou fází. V důsledku toho jsou tyto horniny obvykle vysoce chemicky stabilní, s malou nebo žádnou tendencí aby reagovaly škodlivě s hydratačními produkty cementu. Textury se mohou měnit od středních až po velmi hrubé zrnitosti /> 5 mm velikostně/. Skály plutonické třídy mají obecně chemické ekvivalenty ve vulkanických třídách, i když se jejich struktury liší.	Žula Pegmatit Syenit Diorit Nortit Gabbro Peridotit
Sedimentární horniny Sedimentární horniny pocházejí z fyzikální nebo chemické degradace původních kamenných masivů, což vede k fragmentům, které se obvykle hromadí jako ložiska pod vodou. Jedná se o fyzicky nebo chemicky uložené a konsolidované a často spojené křemičitými, hlinitými, železnatými, nebo vápennými pojivy, často srážením. Proces formace vede k vrstveným ložiskům (kromě ledovcových ložisek).		Skládají se z dalších skalních úlomků různých velikostí: velké v případě konglomerátů, velmi malá v případě břidlic nebo vápenců. Pevnosti horninové hmoty závisí na pevnosti/síle cementující látky; rovněž životnost závisí převážně na cementačním činidle. Tvary fragmentů mohou být úlomkovité, ale obvykle jsou více zakulacené kvůli transportu/přepravě do místa uložení/usazení. Sedimentární horniny mohou být méně náchylné k následné degradaci než by byla vyvěřelina nebo metamorfovaná skála. Postupné vrstvy ukládání mohou být různě velké, což má za následek zabalené vrstvy různých složení. Vápenec a křída jsou obecně chemicky uloženy a konsolidovány.	Konglomeráty: Pískovec Orthokřemen Droby Arkóza Rohovce, Jílovce, Prachovec, Jílová břidlice, Uhličitan: Vápenec a Dolomity	
Metamorfované/přeměněné horniny Metamorfní horniny pocházejí z již existujících magmatických, sedimentárních nebo dalších metamorfních hornin, které jsou texturně, strukturně nebo mineralogicky na místě přeměněny za vysokých teplot a nebo i tlaku. Často spolu s vodou nebo párou. Tam je tedy široká škála metamorfovaných hornin, které se liší velmi strukturou a texturou. Pro například stupeň zvrstvenatění a krystalinity se značně liší.		Metamorfované horniny tvořené pod vysokými teplotami a tlaky vytváří/dávají masivní vnitřní struktury a ekvigranulární /velké velikosti/ textury, které často vedou k vynikajícím pevnostem a houževnatosti, například křemenec/kvarcit a kontaktní rohovec. Metamorfované magmatické horniny: vlastnosti nejsou obvykle výrazně zlepšeny metamorfózou/přeměnou. Metamorfované sedimentární horniny: metamorfóza často zlepšuje vlastnosti jakousi pevnosti, houževnatosti, tvrdosti, trvanlivosti atd. Rekrytalizace za podmínek vysokého střížného napětí produkuje skály, které jsou jsou lístkováné a břidlicově štěpené.	Rula Kontaktní rohovec Mramor Křemenec (Metaquartzite) Svor, Břidlice, a Phyllite/Fylit /který se svým nevýhodným lomem se nepoužívá se jako kamenivodo betonu/	

Tabulka 1: vznik a rozlišující vlastnosti hornin v betonech [3]- přeloženo

3 VŠEOBECNÉ POŽADAVKY A VĚCI O KAMENIVU

Na směs kameniva je kladen požadavek, aby byla poskládaná tak, aby byla co nejméně mezerovitá. Protože kamenivo zaujímá 70-80% procent objemu betonu, odvíjí se od toho velký vliv na trvanlivost a ostatní mechanicko-fyzikální vlastnosti betonu. Do betonárny je dováženo kamenivo z co možná nejbližších lokalit. Do míchaček se tedy dostává široká škála petrografických druhů v různé mineralogické skladbě s různou velikostí zrn. {popis geneze uveden v kapitole hornin} [4]

Například v Kongu a Nigérii kde jiného kamene není se používá i železné rudy /latéritu/ a bauxitu /rudy hliníku/ [1].

3.1 Rozdělení dle velikosti

Velikost zrn kameniva rozděluje tento agregát¹ do dvou zcela odlišných skupin. Zrna s velikostí pod 4 mm se uvádí jako **drobné kamenivo**, slangově písek. Kamenivo v rozmezí 4 až 32 mm se označuje jako **hrubé**, slangově štěrku. Ve Spojených státech amerických se dělí kamenivo na písek (**sand**), pro propad sítem 3/16" = 4,76 mm a menší. Síty 3/16" až 3/4" = 4,76-19,05 mm označujeme velikosti jemného štěrku (**fine rock**). 3/4"-6/4" = 19,05-38,1 mm je velikost středního štěrku (**median rock**); 6/4"-3.0" = 38,1-76,2 mm označuje země jako "**coarse rock**", česky jako hrubý štěrku. Na pomyslný závěr určení stanovuje za valouny (**cobbles**) kameny velikosti 3" až 6" = cca 75-150 mm

¹ Agregátem zde myšleno veškeré kamenivo, obecně pak nestmelená směs

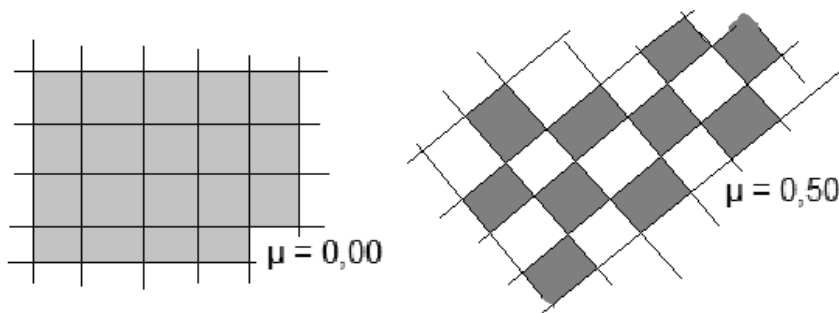
3.1.1 Mezerovitost kameniva

Pro výrobu betonu je důležitý objem mezer ve šterku, tj. prázdný prostor mezi zrny šterku. Mezerovitostí μ_s se označuje poměr objemu mezer k objemu zdánlivému, zaujatému vcelku. Doplnkem mezerovitosti je hutnost

$$h_s = 1 - \mu_s, \quad .$$

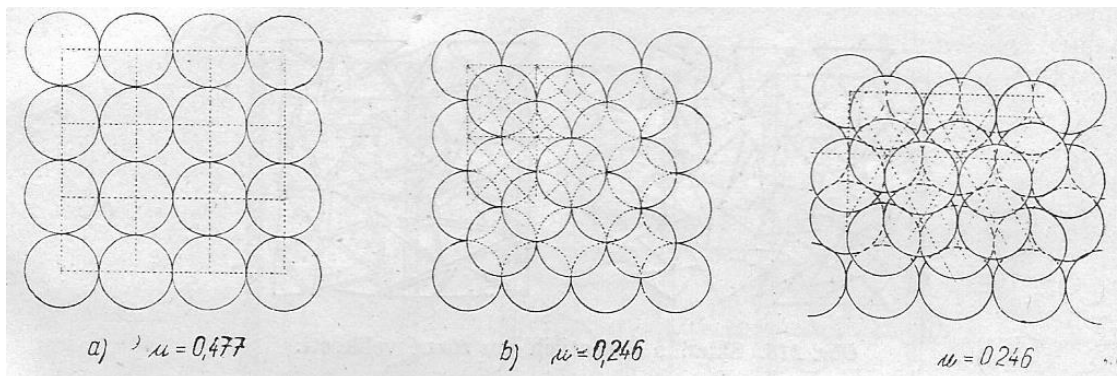
To jest poměr čistého/skutečného objemu všech kaménků k objemu zdánlivému. Z důvodu požadavku na co nejmenší spotřebu malty se vybírá nejhutnější šterk, s nejmenší mezerovitostí.

Teoreticky nulovou mezerovitost by měli krychličky stejné velikosti složené těsně jedna ke druhé. Taková skladba je při přípravě náhodné směsi nemožná, stejně jako extrémní skladba v pravo, při níž je mezerovitost $\mu_s = 0,5$



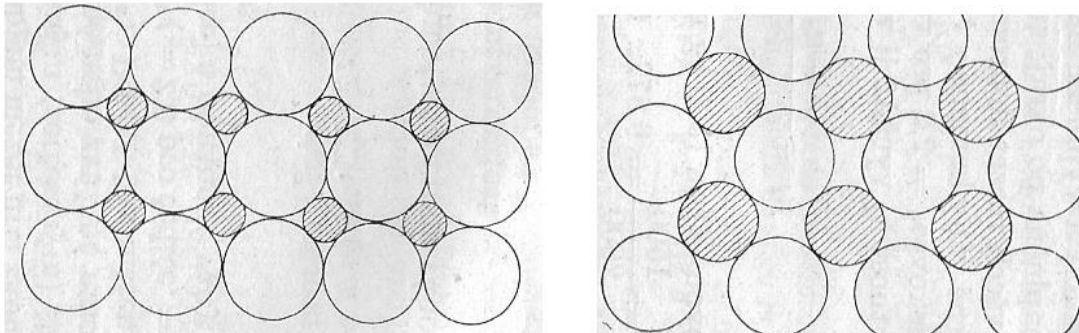
Obrázek 2: mezerovitost krychlí

Náhodným nasypáním tedy vychází mezerovitost volně nasypaných nebo setřesených krychliček v intervalu 0 – 0,5. Nezávisle na velikosti krychliček /pozn. krychličky jsou stejné/. Podobně dá množina stejně velkých koulí mezerovitosti 0,477 a 0,260. příslušné pravidelné skladbě dle obrázku [1]



Obrázek 3: mezerovitost zrn tvaru koule 0,477, 0,246, 0,246

Směsi s odlišnými velikostmi a tvary můžou dát mezerovitosti větší i menší – podle toho, jak se zrna k sobě budou skládat. A podle toho, zda menší zrna zapadají do mezer mezi zrna velká, nebo jestli



Obrázek 4: uspořádání koulí různých velikostí [1]

mají nevhodnou velikost a tato zrna začnou oddalovat, když se tam nevejdou. Malá mezerovitost je možná jen u směsi zrn nestejně velikých při značném rozdílu velikosti zrn největších a nejmenších.

3.2 Návrh receptury

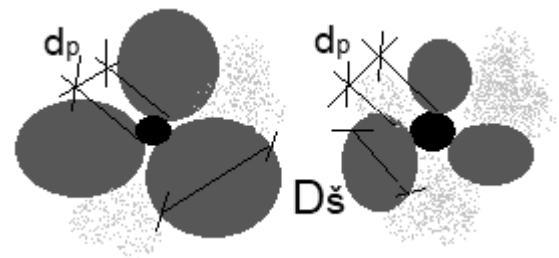
Jakost ztvrdlé malty tedy přímo závisí na hutnosti, proto je možné maltu hodnotit na základě hutnosti v čerstvém stavu hmotnostně, tj. poměrem čistých/absolutních/objemů všech pevných složek a cementu k objemu maltou/betonem/ zaujatému /zdánlivému/. Tyto objemy jsou určeny pro zpracování malty. Porovnáváme-li různě hutné malty, tak ty hutnější jsou pevnější, nepropustnější, odolnější a mají menší smrštění. [1] [5]

3.2.1 poměry míšení malty

Poměry míchání musí vyhovovat nejen výslednému předpisu vlastností ztvrdlého betonu, ale především technologii ukládání, rozumějme především zpracovatelnosti. Starší praxe minulého století opírající se o zkušenosti stavebních mistrů, získané jedním ustáleným postupem používající dokonce i jeden recept, návod, se ukázala nedostatečnou. A proto okolo poloviny

20. století se složitá otázka správného složení prohloubila výzkumy a soustavnými pozorováními. Takže je možné bezpečně navrhovat, sestavovat a zdokonalenými prostředky vyrábět betony, které vyhovují předem stanoveným podmínkám. Není to ale jediná cesta, výsledek lze dosáhnout různými cestami. Jelikož malta rozhoduje prakticky vždy o nejdůležitějších vlastnostech betonu (např. o pevnosti [5])

Mnohdy se malty používají samostatně s minimálními velikosti kameniva, například pro omítky je D_{\max} 2 až 3 mm, kdežto v betonu mají malty samotné až 7 mm [6] i když je vhodné dodržovat velikost zrn nejvýše 5 mm, nebo také jen 3 mm [1]. Je třeba také upozornit, že nejlepší /míním nejhutnější, nejpevnější/ malta nedává vždy pevnosti betonů nejvyšší, a v jiných vlastnostech nejlepší.



Obrázek 5: umístění velkých zrn písku v mezerách štěrku

Záleží také na velikosti největších zrn malty = drobného kameniva / D_p písku/ k nejmenším zrnům štěrku d_s . Jsou-li totiž zrna písku poměrně velká, nastane při míšení složek a při zpracování betonové směsi kromě nakypření směsi /zvětšení mezer štěrku/ i rozmíšení malty – větší zrna písku se totiž zadrhnou mezi zrny štěrku, vsouvají se mezi ně a zvětšují objem štěrku. Ten se sice vyplní maltou, ale jen obtížně. A to obtížněji, je-li povrch zrn drsný. Aby tento nepříznivý jev nenastal, musí poměr velikosti zrn štěrku a písku vyhovovat podmínce

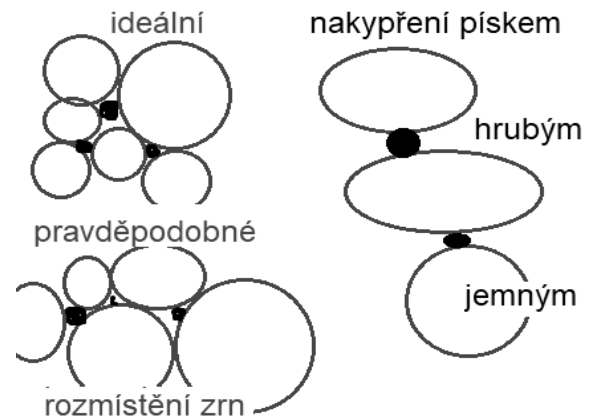
$$\frac{d_s}{D_p} \geq 2,5,$$

z této podmínky vychází předurčení toho, že frakce 4/8, je-li použita ve větším zastoupení směs akorát rozhází. Protože $4/4 = 1,0 < 2,5$, až 8/16 má poměr 2,0

3.2.2 Poměry velikosti zrn hrubého a drobného kameniva

Množství /rozumějme objem/ malty je téměř stejný jako objem písku, z něhož je vyrobena. A protože se nepřipravuje zvlášť, je nutné určit poměr písku ke štěrku. Základním hlediskem při tom je, že zastoupení štěrku má být co největší, protože je pevnější a levnější než ztvrdlý cement. Písku=malty má být, ale zřejmě nejméně tolik aby byly vyplněny mezery štěrku μ_s plus ještě o rozdíl nadbytku $\Delta \mu_s$, aby se všechna zrna obalila maltou a nikde se nedotýkala. Vyhovující za běžných podmínek je nadbytek asi 35 % [6].

A to proto, že je malá pravděpodobnost, že zrno písku padne do mezery právě tak veliké, jako je velikost tohoto zrna. A protože vůbec nastane zvětšování objemu mezer vsouváním zrn písku mezi zrna štěrku. {viz obrázek}



Podle Féretovy rovnice pro pevnost betonu zdánlivě nezáleží na poměru množství písku a štěrku.

Obrázek 6: rozmístění zrn písku mezi zrna hrubého kameniva

$$\kappa = K \cdot \left(\frac{c}{1-s} \right)^2 = K \cdot \left[\frac{c}{1-(p+\dot{s})} \right]^2$$

Ale jelikož se různým množstvím písku

/pozn. i frakce 4-8/ směs

nakypřuje, tím se tedy mění i součet čistých objemů $(p + \dot{s})$, je vliv poměru $p : \dot{s}$ na pevnost velký.

Přihlédneme-li k nakypření směsi a k poměrům mísení, při nichž jsou směsi nejhutnější. Předpokládáme-li že štěrková zrna jsou koule stejné velikosti, na příklad průměr 60 mm, a že zrna písku jsou 3mm, a je jich nadbytek, vsouvají se mezi zrna štěrku, zvětší se objem zaujatý štěrkem $(63/60)^3 = 1,16x$.

A protože původně bylo v 1 m³ objemu štěrku např. 260 l mezer {kapitola mezerovitost a [1]}, připadne na nový objem štěrku 1 160 l mezer nebo malty

1160 - 740 = 420 l, čili 420 / 1,16 = 363 l/m³; místo 260l/m³, tj. 1,4x více než bylo mezer původně. Zvětšení mezer šterku je podle toho závislé na poměru velikostí zrn písku a šterku. Část zrn však zapadne mezi zrna šterku, a proto je nakypření šterku způsobené určitým množstvím písku menší, než jak jsme vypočetli.

Připomeňme že při použití písku, jehož všechna zrna zapadají do mezer šterku, je nejvhodnější poměr míšení teoreticky

$$(\text{š}) : (\text{p}) = 1 : \mu_{\text{š}}$$

nemusí-li se dbát stěnového účinku, je mezerovitost směsi

$$\mu_{\text{směs}} = \mu_{\text{š}} \cdot \mu_{\text{p}}$$

Je-li písku méně, tj. (š):(p) = 1:r, při čemž $r < \mu_{\text{š}}$, jsou mezery písku naplňujícího mezery r μ_{p} , a také mezery šterku pískem nevyplněné $\mu_{\text{š}}-r$, je celková mezerovitost směsi

$$\mu'_{\text{směs}} = r \mu_{\text{p}} + (\mu_{\text{š}}-r) = \mu_{\text{š}} - r \cdot (1 - \mu_{\text{š}})$$

Je-li písku více, je objem mezer v jedničce objemu (mezerovitost)

$$\mu''_{\text{směs}} = \frac{\mu_{\text{p}}}{1 + \frac{1 - \mu_{\text{š}}}{r}} = \mu_{\text{p}} \cdot \frac{r}{1 + r - \mu_{\text{š}}}$$

Mezerovitost $\mu'_{\text{směs}}$ se tedy zmenšuje při vzrůstu r, kdežto mezerovitost $\mu''_{\text{směs}}$ při vzrůstu r roste. Optimální hodnota $r = \mu_{\text{š}}$, , při níž

$$\mu'_{\text{směs}} = \mu''_{\text{směs}} = \mu_{\text{směs}} = \mu_{\text{š}} \cdot \mu_{\text{p}}$$

A mísí-li se dva šterky (š₁) a (š₂) s pískem, je podobně nejvhodnější poměr míšení

$$(\text{š}_1) : (\text{š}_2) : \text{p} = 1 : \mu_{\text{š}_1} : \mu_{\text{š}_2} ,$$

při čemž objem mezer ve směsi klesne na

$$\mu_{\text{směs}} = \mu_{\text{š}_1} \mu_{\text{š}_2} \mu_{\text{p}}$$

Pro betony zvláštního složení /néobétons/ doporučil Villey poměry

D_{š1}:d_{š1}=D_{š2}:d_{š2}=2 a přetržku d_{š1}:D_{š2}=10.

Pro dodávky se velikost šterku popisuje zpravidla jednoduše dvěma rozměry d/D v milimetrech. Kde D značí velikost otvoru síta, na němž mohlo zůstat nejvýše 10 % a d otvor síta, jímž propadá nejvýše 10 % všeho šterku (podle váhy) [1]. Jinak dnes tyto hodnoty určuje norma č. 12 620, {popsána dále}. Drobný šterk míval rozměry 6,3/10, 10/16, 16/25 a hrubý pak 25/40, 40/63, 63/100. Nyní se v používá základní řada sít s $D/d = 2$, a k ní se rozšiřuje o sady sít „+1“ & „+2“, {jejich rozměry jsou uvedeny u popisu normy}.

3.2.3 Křivka plynulé čáry zrnitosti

Některé doporučované křivky vhodné zrnitosti byly odvozeny teoreticky z podmínky dokonalého vyplnění mezer zrn postupně menšími, při zachování určité poměrné velikosti zrn za sebou jdoucích

$$d_i/(d_{i+1}) = \text{konst.}$$

Předností však křivek odvozených zkouškami však je, že přihlížejí také ke stěnovému účinku / závisí na poměru velikosti zrn k velikosti nádoby/ a k zpracovatelnosti, která je velmi důležitým činitelem pro jakost výrobku.

Křivku vhodné, ideální zrnitosti pro směsi s cementem se zřením k pevnosti malty/betonu odvodili William Barnard Fuller & Sanford Eleazer Thompson. A publikovali ji v roce 1907 v knize „The Laws of Proportioning Concrete“ Je složena z paraboly a z k ní připojené v místě, které odpovídá zrnům $D/10'$, kde D je největší velikost zrna

$y [\%] = 100 \left(\frac{d}{D}\right)^n$ Křivá část v oboru jemných částic lze obecně vyjádřit touto rovnicí {<} značí zde „y“ procenta propadu na sítě s velikostí oka „d“ - a to podle váhy. Podle křivek příslušející různým mocnitelům byla vybrána /dle zkoušek/ křivka s mocnitelem 0,5, tedy druhou odmocninou.

$$y [\%] = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Pro drcené, velmi drsné písky platí mocnitel menší než 0,50, čímž se zvětšuje podíl částic nejjemnějších.

Křivka hladká byla odvozena za předpokladu, že plynulost je obecně samozřejmým znakem dokonalosti, že je zárukou dosažení největší hutnosti směsi a že tím je i pro maltu/beton nejvýhodnější. Toto je domněnka, a není ničím doložená. Například některé výzkumy pana Feréta z roku 1892 [1] odkazuje odkazy [232, 235, 236] záhy dokázaly, že nejvýhodnější bude zrnitost přetržitá. Dodnes však přetrvává důležitost domněnky o plynulosti.

Čára domnělé ideální zrnitosti, jak ji nazývá pan Bechyně zdokonalil Bolomey r. 1925 [1] zavedením konstanty „A“ pro různé drsnosti písku a různou konzistenci malty/betonu podle rovnice: {>}

$$y [\%] = A + (100-A) \cdot \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Tato konstanta se dosazuje pro říční štěrk v mezích

A=10 – plastická malta až A=12 pro tekuté směsi. Pro drsný/drcený písek je pak A=12-14. Čára Bolomeyova přihlíží k nejmenší spotřebě vody, a proto by měla zaručovat nejvyšší pevnost [1]okazuje odkazy [78,80]

Pro písek bez cementu se rovnice zjednoduší, vypadne z ní účast cementu vyjádřené výrazem {>}

$$A \left(1 - \sqrt{\frac{d}{D}} \right)$$

Výraz lze díky nepatrnosti rozdílu d ku D zkrátit pouze na „A“

Dobře vyhovuje i křivka EMPA I {>}
ze Švýcarska [7]

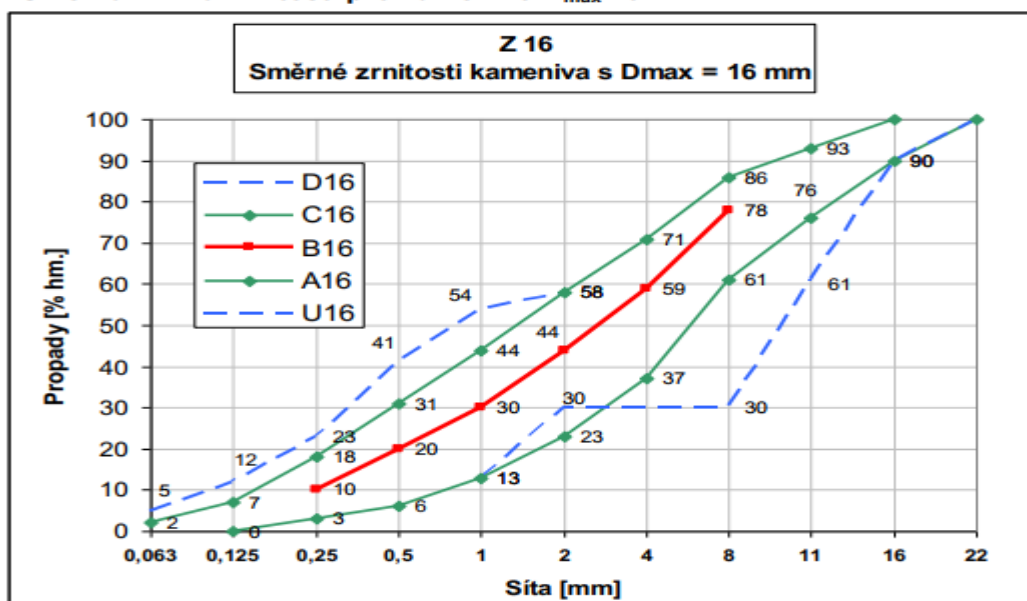
$$y = B \left(\frac{d}{D} + \sqrt{\frac{d}{D}} \right)$$

kde B=50

Místo určité čáry zrnitosti se předepisují pásma zrnitosti, v nichž má vyhovující čára zrnitosti probíhat/nemá je opustit. [[1], [7]]

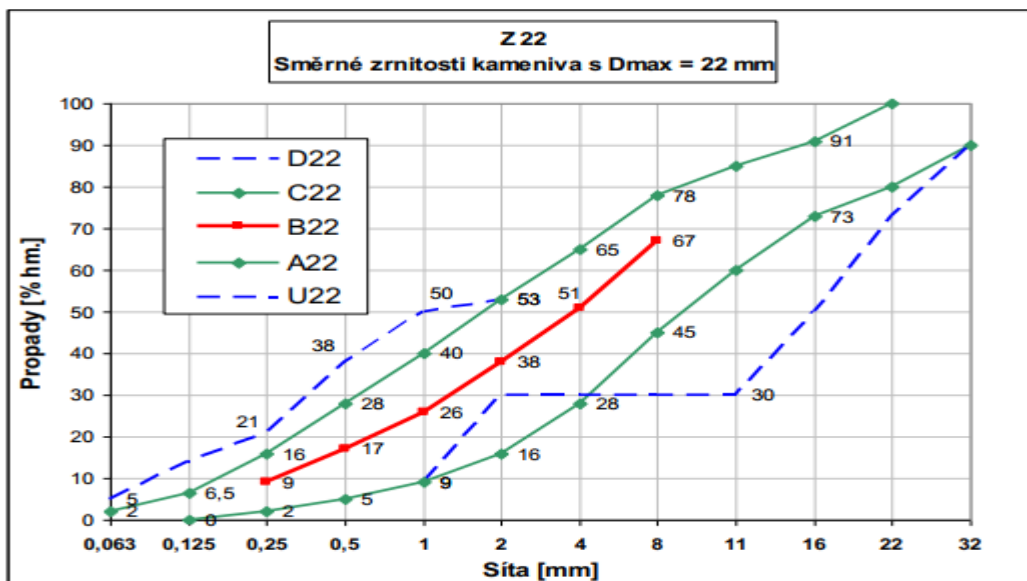
Pokud čára zrnitosti kameniva probíhá pod dolní hranicí pásem zrnitosti, jedná se o kamenivo s výrazným nedostatkem drobného kameniva. Probíhá-li čára zrnitosti kameniva nad horní hranicí doporučených pásem, jedná se o kamenivo s nadbytkem drobného kameniva.

Směrná křivka zrnitosti pro kamenivo D_{max} 16 mm



Obrázek 7: Čáry zrnitosti uvedené v příloze normy ČSN EN 206 [28]

Směrná křivka zrnitosti pro kamenivo D_{max} 22 mm



Obrázek 8: Čáry zrnitosti uvedené v příloze normy ČSN EN 206 [28]

3.2.4 Přetržitá zrnitost s prodlevou

Stejně jako směsi se zrnitostí plynulou, vyhovují i směsi se zrnitostí přetržitou, v níž některé složky chybí. Nejsou tedy méněcenné, naopak poskytují beton hutnější a pevnější, jsou-li vynechána zrna střední velikosti. Jejich vlastní hutnost „h“ bývá 0,8 až /i/ 0,9, kdežto směsi plynulé zrnitosti mívají hutnost pouze 0,7 až maximálně 0,8. Stačí pouze, je-li plynulá zrnitost jen v oboru drobného kameniva. Mezi hrubým a drobným kamenivem je prospěšná přetržka.

3.2.5 Štěrka velké frakce

V částech tlustých a nevytlučených není důvodu pro omezování velikosti zrn D_s , z hlediska úspornosti a se zřením na smršťování betonu vcelku je dokonce žádoucí používat kamenů, pokud možno velkých. A to z hlediska odpadnutí drcení s následným spojováním drahým cementem, a to i z důvodu menšího měrného povrchu, který je nutné obalit cementovou maltou.

Použití štěrku velké frakce ale není tak hojně zastoupeno z těchto negativ, že s ohledem na problém rozměšování může být vmíšeno do směsi jen v omezeném množství. A to právě tím menším, čím větší štěrka je. Dále vyžaduje složitější přípravy směsi, pevněji stavěné míchače, zvláštní opatření při přepravě². Používané bednění musí vykazovat větší stabilitu a povrchovou odolnost proti otluku. Pozornost při betonáži musí být zvýšená, aby odhalila blokaci a rozměšování betonové směsi.

² Při změně pohybu se uplatní setrvačnost zrn úměrná třetí mocninou jejich velikosti/průměru/. Odpory kladené se mění pouze s druhou mocninou, proto průraznost zrn velkých je větší -> jsou tedy rozměšovány od zbytku směsi.

S těmito nutnými opatřeními klesají úspory, které měly být důvodem pro použití většího kameniva. A to na nevýznamné hodnoty. Významnost tohoto použití, jak uvádí literatura [1] [Bechyně I] z roku 1954, je, že se předpokládá do 30 let vyčerpání zásob přírodního písku v tehdejších nalezištích řek západní a střední Evropy. Byla ale otevřena naleziště nová, a tedy písku není nedostatek. Pro trvale udržitelný stav těchto zásob bude třeba do budoucna nutné využívat zpětně to, co nyní považujeme za odpad. Takzvané recyklační linky budou efektivně přeměňovat to, co jeden vyhodí na materiál, jež společnost znovu použije. Není myšleno jen nynější „recycling“ na betonárnách /pozn. mnohdy bez znovupoužití roztrávených zbytků/.

3.2.6 ČSN EN 933-1 Geometrické vlastnosti: část 1

Stanovení zrnitosti – síťový rozbor

[8] Podstata zkoušky

Zkouška sestává z roztřídění a oddělení materiálu pomocí sady sít do několika zrnitostních podílů s klesající velikostí částic. Velikosti otvoru sít a počet sít jsou voleny podle druhu vzorku a požadované přesnosti.

Schválená metoda je praní a prosévání za sucha. ...

Hmotnost částic zachycených na jednotlivých sítích se uvádí ve vztahu k počáteční hmotnosti materiálu. Souhrnný propad jednotlivými sítí se uvádí v procentech číselným způsobem, a pokud se požaduje, tak i v grafické podobě (viz příloha D citované normy).

3.2 Posouzení vhodnosti kameniva

Vhodnost kameniva pro výrobu betonu se ve státech Evropské Unie obecně prokazuje:

- hutné a těžené kamenivo podle ČSN EN 12 620+A1, Z2 [9]
- pórovité kamenivo se ohlíká normou ČSN EN 13055-1

Při výběru druhu kameniva, zrnitosti (tj. maximální velikost zrna, množství jemných částic, tvaru zrn, soudržnosti v matrici) a jeho specifických vlastností (např. odolnosti při střídavém působení mrazu a rozmrazování, odolnosti proti obrušování apod.), je třeba jednat dle:

- konkrétního použití betonu a technologii provádění betonáže,
- splnění podmínky ,budovaného prostředí, které by mělo být známo předem, a tedy určeno stupněm vlivu prostředí.
- je-li požadováno obnažené kamenivo při úpravě povrchu, nebo povrch hlazený, broušený či jinak upravený.

Maximální jmenovitá horní mez kameniva (D_{max}) je třeba stanovit splněním podmínky nejmenšího rozměru:

- nejvýše jedna třetina až polovina nejmenšího rozměru konstrukce (podle jejího tvaru)
- nejmenší vzdálenost ocelových prutů výztuže zmenšená o 5 mm
- nejvýše 1,3násobek krycí vrstvy výztuže³
- 1/3 světlého průměru potrubí, jímž je dopravován beton.

Snahou je použití co největšího zrna kameniva, pokud to uvedené podmínky dovolí [10]

³ podle cvičících z ústavu Betonových a zděných konstrukcí je krytí zvětšeno o 5 mm

3.2.1 Tvarový index kameniva

Pro výběr vhodnosti zamíchání do receptury pro dané použití, je nutno posoudit vhodný tvar kameniva, tedy tvarový index, nebo index plochosti pro říční kameniva.

Pro výrobu betonu je nutné používat zrna kameniva o vhodném tvaru. Ideální tvar je kulovitý blížký kouli. Zejména drcená kameniva však mívají značné odchylky od koule. Tvar bývá protažený v jednom směru, zrna mohou být špičatá v jednom směru tenká tvořící až lístky.

Tvar zrna je hlavně u drcených kameniv

ovlivněn typem horniny a jeho štípatelností a drtitelností a rovněž způsobem jeho drcení.

Pro kamenivo do betonu platí, že poměr nejmenšího ku největšímu rozměru zrn by neměl být větší jako 3. Výraz tvarový index pak určuje kolik % zrn z testovaného souboru odebraného z dodávky kameniva nevyhoví tomuto požadavku. Podle toho jsou pak kameniva zařazena do kvalitativních tříd A, B nebo C. Kvalitní kameniva mají tvarový index do 12 %, podíl více jako 30% nevyhovujících zrn je již ukázkou nevhodného kameniva.

[7]-] Tvarový index se testuje pouze u hrubých frakcí 4 až 32,5 mm.



Obrázek 9: Tvary (podle BS 812: 1989) jsou ve směru hodinových ručiček zleva shora: Zaoblené, nepravidelné, úhlové, vločkané, protáhlé, vločkané + protáhlé.

šterk/ drcené kamenivo tvary zrn

picture courtesy of FedBetón



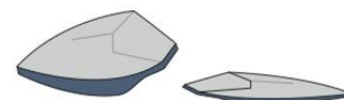
zaoblené - přírodní



kulovité/ krychlové



polooblázkové - předrcené



destičkové/ jehlicové



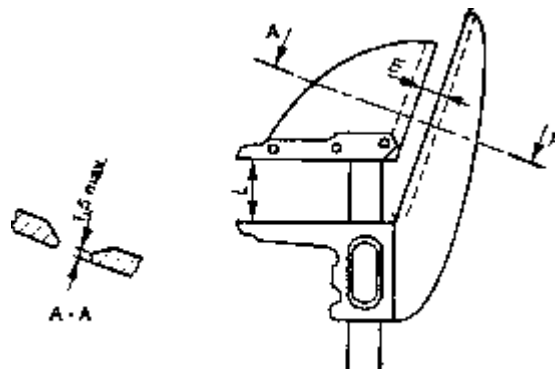
hranaté - drcené

Obrázek 10: Tvary a povrchy zrn

3.2.2 ČSN EN 933-4 „Zkoušení geometrických vlastností kameniva: část 4 Stanovení tvaru zrn, tvarový index

[11] Podstata zkoušky

Jednotlivá zrna ve vzorku hrubého kameniva jsou roztřídována na základě poměru jejich délky L ke tloušťce E obvykle pomocí dvoučelistového posuvného měřítka. Tvarový index se vypočte jako hmotnostní podíl zrn, jejichž poměr rozměru L/E je větší než 3 a vyjádří jako procento celkové hmotnosti zkoušených zrn.



Obrázek 11 Dvoučelistové posuvné měřítko / obr. 1 normy 933-4/

3.3 Norma ČSN EN 12620+A1, Z2 : „Kamenivo do betonu“

[9] Tato evropská norma určí vlastnosti kameniva a fileru jako kameniva. A to získaného úpravou přírodního, ale dále i recyklovaného, uměle vyrobeného, nebo směsi kameniv do betonu. Zahrnuje kameniva s OH větší než 2000 kg/m^3 / $2,000 \text{ Mg/m}^3$ / pro všechny betony. Nezabývá se filerem jako aktivní příměsí, ale jen jako výplní/inertním filerem.

Každé kamenivo musí být specifikováno velikostí frakce s použitím výrazu d/D , kromě fileru, ten musí vyhovovat požadavku uvedenému dále. Frakce je specifikována dvojicí sít vybraných ze základní řady, nebo ze základní řady plus jedna, nebo plus dva. Dále frakce kameniva nesmí mít D/d menší než 1,4, tj. lze definovat frakci 11/16, nebo hraniční 4/5,6.

Síta uvedená v tabulce z normy [12 620 - [9]]

Základní řada mm	Základní řada plus 1 mm	Základní řada plus 2 mm
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
–	5,6 (5)	–
–	–	6,3 (6)
8	8	8
–	–	10
–	11,2 (11)	–
–	–	12,5 (12)
–	–	14
16	16	16
–	–	20
–	22,4 (22)	–
31,5 (32)	31,5 (32)	31,5 (32)
–	–	40
–	45	–
63	63	63

POZNÁMKA Zaokrouhlené velikosti uvedené v závorkách se mohou použít jako zjednodušené označení frakce kameniva.

Tabulka 2 Tabulka řad sít z normy 12 620 [9]

Dále norma popisuje požadavky na všeobecné podmínky zrnitosti, například že hrubé kamenivo 11/22 má propad sítem 31,5 minimálně 98 % hmotnostní, propad pod síto d /11 mm/ maximálně 5 % hmotnostní.

U drobného kameniva je hlídána tolerance propadu mezilehlými síty.

Směs kameniva 0/ až 45 = D_{max} podle odstavce /v normě/ 4.3.5 musí vyhovovat na procenta propadu mezilehlými síty uvedenými v tabulce 6 normy.

Filer podle musí
odpovídat tabulce
sedm normy:

Velikost síta mm	Propad v procentech hmotnosti	
	Celkový rozsah pro jednotlivé výsledky	Maximální rozsah deklarovaný výrobcem ^a
2	100	–
0,125	85 až 100	10
0,063	70 až 100	10

^a Deklarovaný rozsah zmitosti na podkladě nejméně 20 hodnot (viz tabulka H.1, první řádek). 90 % všech výsledků zkoušek musí být v tomto rozsahu, avšak všechny výsledky musí být v rozsahu celkových mezí zmitostí (viz druhý sloupec nahoře).

Tabulka 3: propady fileru z normy 12 620 [9]

Pokud je požadován tvar zrn hrubého kameniva, musí vyhovět normě plochosti /ČSN EN 933-3/ nebo normě tvarového indexu /norma ČSN EN 933-4 – {popsána výše} danou tabulkou 9.:

Tvarový index	Kategorie <i>SI</i>
≤ 15	<i>SI₁₅</i>
≤ 20	<i>SI₂₀</i>
≤ 40	<i>SI₄₀</i>
≤ 55	<i>SI₅₅</i>
> 55	<i>SI_{deklarovaná}</i>
Bez požadavku	<i>SI_{NR}</i>

Tabulka 4: kategorie tvarového indexu [9]

Obsah schránek živočichů, dále obsah jemných částic dle EN 933-1 dle deklarace například pro směs kameniva a požadavku f_3 musí být propad sítem 0,063 maximálně 3%.

Pokud jsou stanoveny požadavky na fyzikální vlastnosti, musí vyhovět požadavkům kapitoly 5 této normy.

A to odolnosti proti drcení, odolnosti proti rázu, odolnost proti otěru. Dále proti ohladitelnosti a obrusu při použití v povrchových vrstvách.

Také Nordickou zkouškou obrusu pneumatikami s hroty.

V další části je definice /pokud je požadováno/ na zkoušení nasákavosti a OH dle ČSN EN 1097-6; sytná objemová hmotnost zkoušená dle ČSN EN 1097-3, na vyžádání deklarována.

Trvanlivosti zkoušeny jako odolnost zmrazování a rozmrazování nebo zdravosti síranem hořečnatým. Také objemovou stálostí při vysychání.

Alkalicko-křemičitá reakce: Jsou uvedeny opatření v příloze G, se kterými je nutné uvažovat.

Kapitola šest posuzuje chemické vlastnosti:

Sírany, chloridy, celkovou síru, sírany v recyklovaném kamenivu, složky upravující tuhnutí a tvrdnutí a objemovou stálost.

Dále definice posouzení shod a pravidla při označování. Přílohy, které jsou informativní. Až na „C“, kde je popsána deklarace zrnitosti pro výrobce, „D“ – jemné částice; „H“ o řízení výroby. Ty jsou povinné.

3.4 Stanovení pevnosti v tlaku

[12] [13] Stanovené dle normy ČSN EN12 390-3 „Zkoušení ztvrdlého betonu – část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles

Podstata zkoušky:

Zkušební tělesa se zatěžují konstantním přírůstkem tlaku až do porušení ve zkušebním lisu.

Postup:

Zkušební těleso se zváží s přesností $1 \cdot 10^{-3}$ kg, změří posuvným měřítkem s přesností $1 \cdot 10^{-2}$ mm a poté se umístí do lisu tak, aby zatěžování probíhalo kolmo na směr hutnění. Zkušební těleso se umístí na střed spodní tlačené desky. Zapne se lis a zkušební těleso je zatěžováno konstantní rychlostí 0,2 MPa/s. Zaznamená se maximální dosažené zatížení před porušením vzorku. Vypočítá se pevnost v tlaku.

Vyhodnocení:

Vypočítá se pevnost v tlaku dle vztahu:
$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

kde f_c ... Pevnost v tlaku [MPa]

F... Maximální zatížení při porušení vzorku [N]

A_c ... Průřezová plocha zkušebního tělesa, na kterou působí zatížení v tlaku [mm²]

3.5 Statistický náhled na hodnocení výsledků pevnosti

Když vyšetřovanou materiálovou vlastností X je například pevnost betonu v tlaku f_c . Má se stanovit její charakteristická hodnota definovaná jako 5% kvantil. Uvažuje se, že základní soubor má normální rozdělení. Vztahy uvedené v příloze „D“ ČSN EN 1990

[norma z [14]] vycházejí z předpokladu, že vyšetřovaná veličina má normální nebo log-normální rozdělení. Přijetí log-normálního rozdělení, má tu výhodu, že na rozdíl od normálního rozdělení se vyloučí výskyt záporných hodnot. Dále se předpokládá, že neexistuje apriorní znalost průměru pevnosti f_c . Průměr se stanoví z výsledků zkoušek podle vztahu:

-kde $f_{m(n),is}$ je výběrový průměr odhadnutý z výsledků zkoušek $f_{is,i}$ a sumace se provádí přes výsledky všech n zkoušek.

$$f_{m(n),is} = \frac{1}{n} \sum_n f_{is,i}$$

3.5.1 Alkalicko-křemičitá reakce

Pevnost /odolnost vlivům/ betonu /nejen v tlaku/ v čase se může snížit z důvodu „Alkalicko-křemičitá reakce“ = ASR /z anglického Alkali-silica reaction problem/

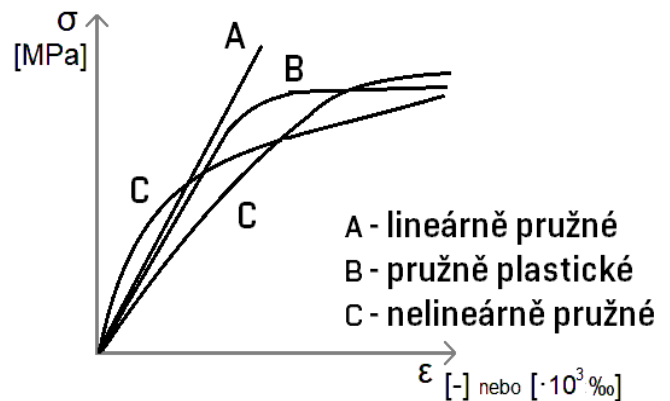
Alkalicko-křemičitou reakcí je myšlen sled složitých a komplexních reakcí mezi částicemi reaktivního amorfního oxidu křemičitého a alkalickými roztoky přítomnými v betonu, následkem čehož je vznik alkalicko-křemičitého gelu v mikropórech betonu. Tato reakce je spojena s objemovou expanzí. Protože je kamenivo v matici malty pevně usazeno, není k dispozici prostor pro expanzi. Objemový nárůst tak vede ke vzniku vnitřního tlaku.

Toto namáhání přesahuje pevnost v tahu přijatelnou pro beton, takže mohou velice snadno vznikat trhliny. Tyto trhliny jsou většinou jemně rozloženy a jsou síťovité. Nejsou omezeny pouze na viditelnou okrajovou oblast, nýbrž se mohou táhnout celou betonovou strukturou. Alkalicko-křemičitá reakce probíhají během delšího časového období. Alkálie prosakují z uvolněných pórů postupně také již vytvořenou vrstvou gelu a dále reagují s amorfním oxidem křemičitým v jádru kameniva. Současně se mohou z gelu znovu uvolňovat alkalické hydroxidy, které jsou rovněž k dispozici pro pokračování reakce [[15] -ODKAZUJENA ZDROJ [UVEDENÝ PO JEHO ZNAČENÍM 21, 22]

3.1 Moduly pružnosti

Velikost deformace prvku určuje zatížení a to přes napětí v průřezu, rozložením napětí mezi výztuží a samotným betonem. Závislost napětí na deformaci popisujeme $\sigma - \epsilon$ diagramem. Jejím průběhem můžeme rozdělit /nejen/ stavební materiály na:

- hmoty s lineárně pružnou vlastností {A}
- staviva s /výrazným/ pružně plastickým průběhem {B}
- nelineárně pružné materiály {C}



Obrázek 12: různé chování materiálů

Hookův zákon právě popisuje vlastnost závislosti napětí na deformaci. Pro beton je typický nelineárně pružný průběh, i když by se mohlo zdát, že v počáteční fázi křivka kopíruje lineárně Hookův zákon. Pokud pohled zaostříme, zjistíme že průběh není lineární a že jej /až na výjimky/ nikdy nedosáhne. A to z těch důvodů, že závisí na kvalitě rozhraní mezi maticí a plnivem, na čemž se zakládá můj předpoklad o spolupůsobení hrubých zrn. Dále závisí na rychlosti zatěžování; složení matrice a podstatě plniva. [16] Proto pokud chceme vhodně posoudit, je třeba uvádět i maximální hodnotu napětí f_c , deformaci náležející tomuto napětí a také sečnový a počáteční tečnový modul pružnosti. [16] Modul je tedy první derivace, jinak směrnice tečny v bodě křivky $\sigma - \epsilon$. Jak se ukazuje, tak největší modul pružnosti má počáteční modul = počáteční tečnový. Dále sečnový – stanovený od počátku zatěžování do dané míry zatěžování. A pakliže bereme za modul modul stanovený v určitém napětí, nazýváme jej jako tečnový. Počáteční tečnový je veden počátkem, a má největší hodnotu.

3.2 Zkouška na zjištění modulu pružnosti

[17] Se provádí dle normy ČSN ISO 1920-10 "Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku" z 07-2016. Podstatou zkoušky je, že zkušební těleso je vystaveno základnímu napětí 0,5 N/mm² (MPa) a poté se napětí plynule zvyšuje až do hodnoty jedné třetiny pevnosti betonu v tlaku válce o poměru délky k průměru 2:1. Zaznamenají se poměrná přetvoření při odpovídajících napětích. Modul pružnosti se vypočítá jako podíl rozdílu základního napětí a horního zatěžovacího napětí a rozdílu odpovídajících poměrných přetvoření.

$$E = \frac{\sigma_0 - \sigma_{1/3}}{\Delta l}$$

Neboli

Zkušebním zařízením je zkušební lis, vyhovujícím normě ČSN EN 12390-4, tedy umožňovat vyvození daného zatížení se stanoveným časovým nárůstem napětí a jeho udržování na požadované hodnotě [ČNI 500125]

měřič poměrného přetvoření – neboli obecně tenzometr, odporový, indukční, strunový a jiný. S měřicí základnou větší než 2/3 průměru zkušební tělesa ale menší než jeho průměr (d). připevněný dle normy, při měření na nejméně dvou protilehlých stranách. přesnost přístroje musí být $\pm 5 \cdot 10^{-6}$.

Zkušební tělesa mají dle platného znění být v počtu nejméně pěti kusů, kde na třech se stanoví \bar{x} pevnost v tlaku, na dvou pak samotný statický modul.

Tyto tři pevnostní musí být válce o průměru $L/d = 2$. Další dvě tělesa musí splnit následující požadavky:

a/ jejich nejmenší rozměr má být 100 mm a nejméně čtyřnásobek největšího zrna kameniva, dle toho, co bude vyšší.

b/ platí pro vývrty.

c/ poměr délky k průměru L/d je v rozmezí 2 až 4; 2 je doporučený.

/kde L je délka a d průměr nebo šířka strany vzorku/

Tedy trámce 100x 100x400 jsou také povoleny. splňují podmínku a/,

jelikož $22 \cdot 4 = 88$ a to je menší než 100 mm

Příprava těles je dle normy ISO 1920-3, když by byla zavedena. Stará norma čsn iso 6784 odkazuje na ČSN ISO 2736-2 o výrobě a ošetřování zkušebních těles. Kde mají být vzorky uloženy ve vodním prostředí nebo v prostředí s relativní vlhkostí > 96 % a laboratorní teplotou. Při přepravě mají být vzorky chráněny před suchým prostředím a to pilinami, pískem nebo plastickými hmotami. Zkušební tělesa mají být opět ponořena do vody nejméně na 12 hodin před zkouškou.

Zkušební postup je takový, že se se upnuté těleso zatíží v lisu na sigma b, tj. 0,5 MPa, udržuje se po dobu 60 sekund. Poté se odečtou a zaznamenají údaje na všech přístrojích.

Napětí se plynule zvyšuje od 0,20 až 0,60 MPa/s, dokud se napětí nerovná jedné třetině (válcové) pevnosti $\sigma_a = F_d/3$.

Napětí se udržuje po dobu 60 sekund, zaznamenají se údaje na všech přístrojích

Poté /pokud deformace vyhovuje/ se sníží na základní napětí stejnou rychlostí jako při zatěžování.

Tento předběžný cyklus

se opakuje nejméně

dvakrát stejnou rychlostí

s výdrží napětí (σ_A & σ_B)

po dobu 60 s. Při

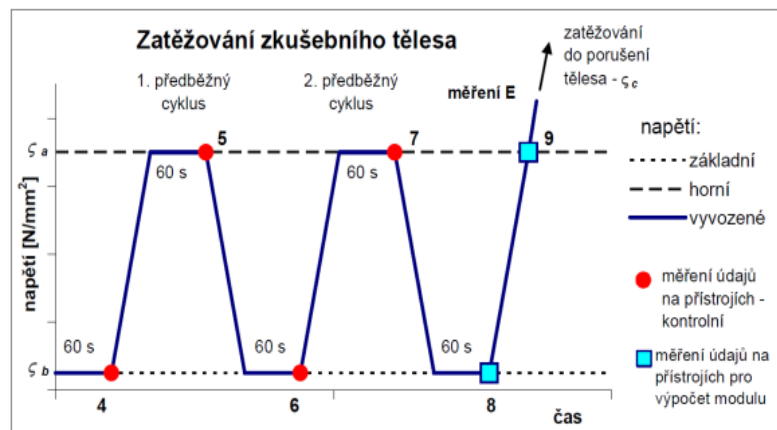
dokončení se

zaznamenají poměrná

přetvoření ϵ_b . a znovu se

zatíží a vydrží se 60 s a zaznamenají se poměrná přetvoření ϵ_a .

výpočet a vyjádření výsledků



Obrázek 13: Názrek zatěžování při zkoušce stat. modulu pružnosti [29]

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\epsilon_a - \epsilon_b}$$

Obrázek 14: vzoreček z normy modulu pružnosti [17]

Vypočítají se průměrná přetvoření a pak se vypočte dle vztahu (1 v normě)

kde je

σ_a horní zatěžovací napětí, v N/mm² (MPa)

$$(\sigma_a = f_c/3);$$

σ_b základní napětí, tj. 0,5 N/mm² (MPa);

ε_a průměrné poměrné přetvoření při horním zatěžovacím napětí;

ε_b průměrné poměrné přetvoření při základním zatěžovacím napětí.

s vyjádřením v GPa na tři platné číslice. A uvedou se povinné údaje do protokolu do zkoušce.

3.3 Stanovení modulu pružnosti v tahu za ohybu

Se v případě potřeby stanoví dle normy "stanovení modulu pružnosti i a přetvárnosti betonu ze zkoušky v tahu ohybem" s označením ČSN 73 6174.

[16]

4 POPIS LOKALIT POUŽÍVANÝCH KAMENIV

Petrografie jako věda se zabývá popisem složení a vlastností hornin. Kdežto příbuzný obor petrologie /Z řeckého πέτρα, petra, kámen a λόγος, logos, znalost/ se zabývá vznikem, složením vlastnostem a výskytem hornin. Nezabývá se půdou, tu zkoumá pedologie. [18]

4.1 Drcené kamenivo Luleč

Lom je na lokalitě blízko Vyškova, východně od Brna, s dostupností po nedaleké dálnici D1 GPS: 49°15'46.641"N, 16°56'14.522"E [19] je situován na SV okraji obce. Jedná se o lom patřící do německého holdingu HeidelbergCement, do divize Českomoravský štěrk. Kámen, z něj kamenivo,

je dodáváno do Brněnských betonáren holdingu a nejspíš také pro celé Vyškovsko. Jedná se zde o horninu slepence.

4.1.1 Geologie a petrologie lomu

[20] Základní geologická jednotka oblasti je Český masiv, dílčí stavební jednotka moravskoslezské paleozoikum. Lokalita Luleč je součástí kulmského vývoje spodního karbonu, tzv. myslějovického souvrství které představuje typickou flyšovou sedimentaci- střídání sedimentárních poloh jílovitých břidlic s polohami slepenců, pískovců a drob, stáří je spodní karbon, spodní - stř.viseé. Pro danou lokalitu jsou typické slepence račické a lulečské, jedná se o hrubozrnné slepence, materiál valounů jsou především metamorfity, pak sedimenty, v menší míře magmatity, pojivo slepenců jsou droby, které také uvnitř slepenců tvoří různě mocné polohy.

Droby jsou obvykle hrubě lavicovitě zvrstvené, středně až hrubě zrnité, modrošedé, místy slabě vápnité, materiál drob představuje především přínos z krystalinika ČM. Uprostřed drobových poloh vystupují různě mocné černošedé jílovité břidlice s vložkami siltovců, [21]. [18] Společnost se zde zabývá těžbou kamene (drob a slepenců) za účelem výroby lomového kamene a drceného kameniva různých frakcí do stavebních směsí.

V nejvyšší části kamenolomu jsou zastoupeny i jemnozrnné břidlice. V oblasti okolo Lulče se rozlišují dva druhy slepenců – račické a lulečské.

Druhé jmenované, vystupující přímo na lokalitě, se vyznačují větším podílem valounů metamorfitů vyšších metamorfních facií (pozorovatelných rozdílů). Jsou mezi nimi zastoupeny především ruly a granulity. Podíly křemene, sedimentárních a magmatických hornin nejsou tak významné. Obsah vápencových valounů je malý [20] [23].

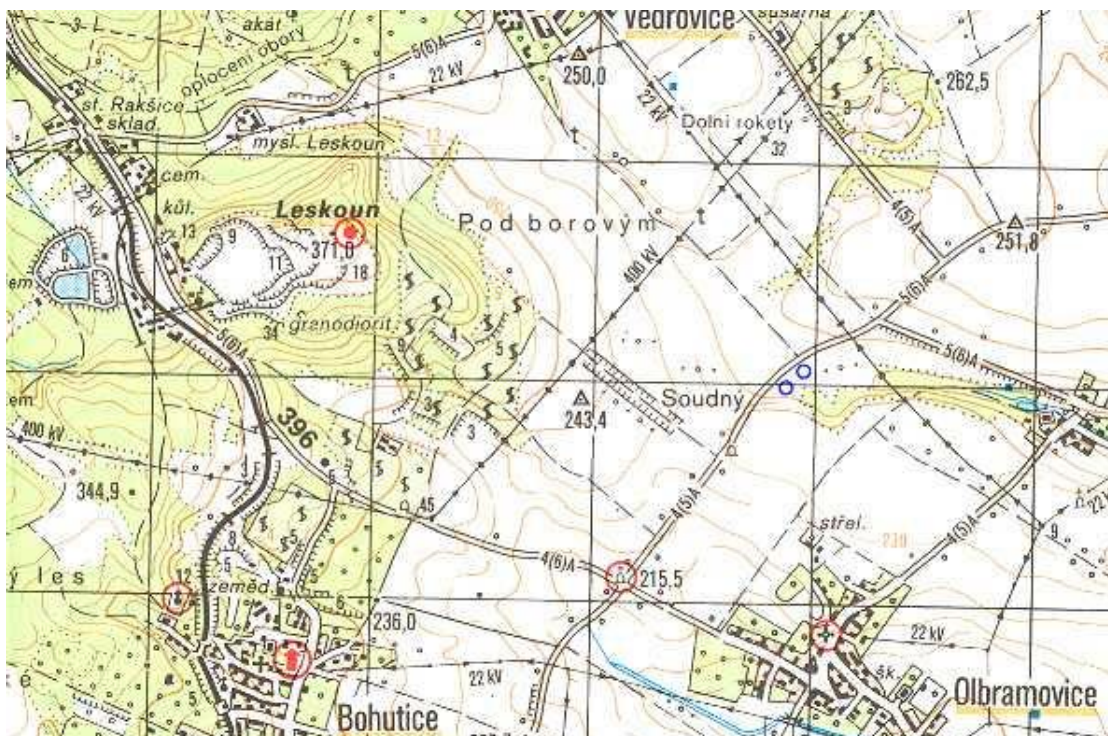
4.2 Hrubá drcená kameniva z Olbramovic

Asi 3 km SZ od Olbramovic se na JZ. svahu kopce Leskoun (kóty 371 m n. m.) nachází činný /dle zdroje pětietážový/ kamenolom společnosti Českomoravský štěrk { viz foto}.



Obrázek 17: lom Olbramovice, těžební stěna [24]

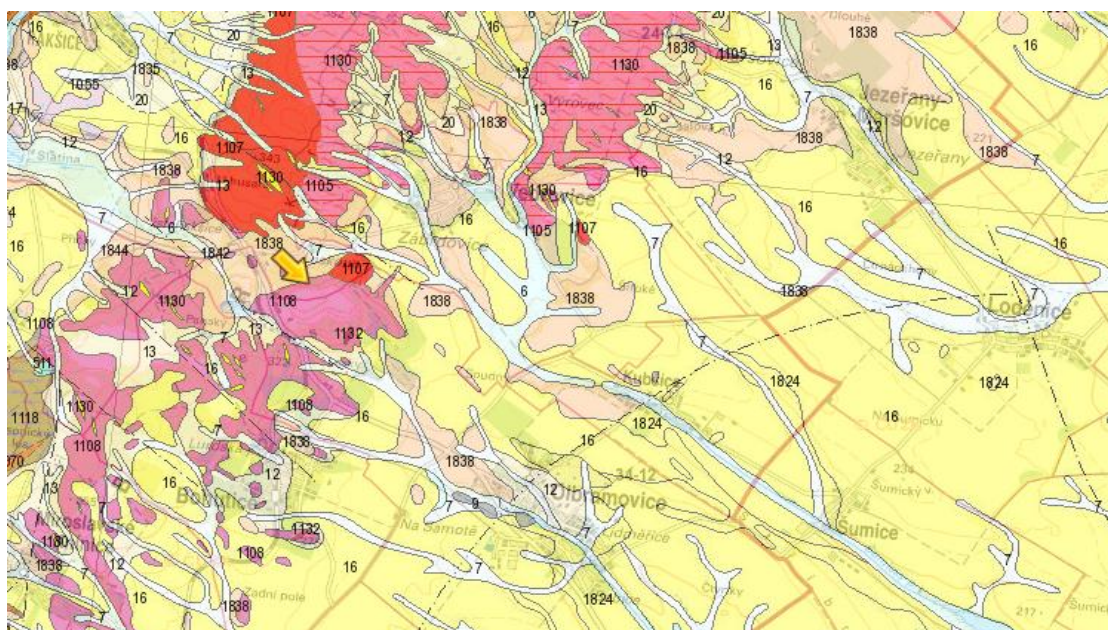
Přístup do lomu je ze silnice č. 396 vedoucí z Olbramovic směr Moravský Krumlov {mapa na obrázku}



Obrázek 18: mapa okolí lomu Olbramovice [25]

Pro vstup do lomu je nezbytný souhlas majitele lomu, z vedení v Mokrém.

Orientace na geologické mapě



Obrázek 19: Geologická mapa lokality Olbramovice [18]-upraveno



Obrázek 20: granodiorit Leskoun [24]

Velkolom je založen v morfologicky výrazném eliptickém tělese orientovaném ve směru SZ-JV a tvořeném převážně hrubozrnným biotitovým granodioritem. Tato hornina vystupuje v relativně zvednuté jižní kře brněnského masivu a představuje jeho nejspodnější strukturní stupeň. Na základě svého složení a petrofyzikálních znaků bývá v literatuře zpravidla vymežována jako samostatný granitoidní člen masivu označovaný v širším okolí Leskounu jako granodiorit typu Olbramovice, popř. **granodiorit typu Leskoun.**

Granodiorit těžený v lomu je bělo šedý, {jak ukazuje obrázek}, drobnozrnný až středně zrnitý, s hypautomorfní mikrostrukturou a typickými K-živci o velikosti až 8 mm . Středně zrnité partie přecházejí v leukokratní granity /převládají zde světlé barvy [26]/. Skládá se z plagioklasu (41 %), draselného živce (28 %), křemene (24 %) a biotitu (6 %).

Těleso biotitového granodioritu je omezeno výraznými poruchovými zónami o mocnosti od 0,5 do 15 m, na zlomech se prorýsovaly žíly křemene, dále také apatit pegmatitové čočky a žíly.



Obrázek 21: žíla pegmatitu v granodioritu Olbramovice [24]-foto12

4.1 Drobné těžené kamenivo Bratčice a Žabčice

Ložisko štěrkopísků a živcové suroviny Bratčice, se nalézá 10 km jižně od města Brna. /Podle stránek výrobce/ patří k největším ložiskům v České republice. Je součástí tzv. syrovicko – iváňské terasy, která vznikla akumulací klastického materiálu mezi koryty řek Jihlavy a Svatky. Do této terasy patří i ložisko Žabčice, ze kterého bylo také mícháno. /Jeho detailní popis nebude uveden, technologie ložiska je podobná tomu Bratčickému./

Zájmové území se z regionálně geologického hlediska nachází v oblasti čelní karpatské předhlubně budované neogenními sedimenty spodního badenu.

Samo převážně ploché ložisko Bratčice je rozčleněné mělkými protáhlými depresiemi. Ložisko se nachází v SZ části této syrovicko - iváňské terasy na ploše cca 5 km², na katastrálních územích obcí Bratčice /nyní rekultivace/, Němčičky, Sobotovice, Medlov /o ploše 3,983 km² [22]/ & Medlov I /o ploše 0,276 km² [22]/ a Ledce /o ploše 1,828 km² [22]/

Ložisko u obce Žabčice má plochu 2,412 km², stanovenou od roku 1991 Státní báňskou správou ČR.

Nadmořská výška terénu lokality Bratčice se pohybuje v rozpětí 220 – 232 m. n. m. Vytěžený a rekultivovaný terén pískovny pak okolo 210 – 205 m n. m.

Ložisko kvalitních betonářských štěrkopísků v Ledcích je tvořeno třemi horizonty, které jsou charakterizovány surovinovými typy – A, B, C.

Podloží tvoří neogenní jíly a písky, nadloží pak spraše a ornice.

Horizont **C** tvoří bazální často hrubé štěrkopísky, horizont **B**, který je hlavní těženou surovinou, živcové písky a štěrkopísky. Surovinový typ **A** je tvořen červenohnědými jílovitými štěrkopísky.

Průměrná mocnost těžební stěny je cca 17 m. Hydrogeologické poměry na ložisku jsou poměrně jednoduché. Hladina podzemní vody klesá od SZ k JV z 209 m n. m. na úroveň cca 201 m n. m. Pro ochranu ložiska bylo v roce 1988 stanoveno chráněné ložiskové území /CHLÚ/ Bratčice. V roce 2002 pak byly v oblasti dosavadního výhradního ložiska štěrkopísků nově vymezeny a ochráněny i zásoby živcové suroviny CHLÚ Medlov I. Pískovna Bratčice, ve které začala těžba v období II. světové války, prožila své nejslavnější období v sedmdesátých letech, kdy byly zdejší kvalitní betonářské písky použity při výstavbě Dalešické přehrady, Dukovanské jaderné elektrárny, dálnice D1 i při výstavbě brněnských sídlišť. Denní prodej dosahoval až 11 000 m³. [27]

PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE

V praktické části mé bakalářské práce bylo navrženo a namícháno devět receptur za použití kameniv dostupných v holdingu Českomoravský beton z lokalit Luleč a Olbramovice, jako hrubé drcené kamenivo. Písek pak ze smluvně tradičního dodavatele, tedy Štěrkopísek Bratčice, s.r.o. Bylo to právě z toho důvodu, že praktická část byla míchána ve zkušební laboratoři Betotech.

=====

5 ZKOUŠKY VSTUPNÍCH SUROVIN

Byly změřeny objemové, sypané a setřesené hmotnosti kameniv.

Vypočtené mezerovitosti jsou uvedené v tabulce.

název kameniva	hmotnosti [kg/m ³]			mezerovitost [%]	
	setřes.	sypaná	objem.	setřes.	sypaná
Olbram 4-8	1610	1320	2646	39,2	50,1
Olbram 8-16	1580	1310	2645	40,3	50,5
Olbram 11-22	1550	1350	2693	42,4	49,9
2680	< počítáno v RAO \bar{x} rozdíl ρ -19 kg/m ³				
Luleč 0-2 !	1890	1500	2483	23,9	39,6
2688	< počítáno v RAO \bar{x} rozdíl ρ -205 kg/m ³				
Luleč 4-8	1560	1330	2644	41,0	49,7
Luleč 8-16	1520	1250	2649	42,6	52,8
Luleč 11-22	1570	1345	2707	42,0	50,3
2665	< počítáno v RAO \bar{x} rozdíl ρ 2 kg/m ³				
Bratčice-prané	1790	1520	2564	30,2	40,7
2610	< počítáno v RAO \bar{x} rozdíl ρ -46 kg/m ³				
Žabčice	1760	1480	2600	32,6	43,3
2610	< počítáno v RAO \bar{x} rozdíl ρ -10 kg/m ³				

Tabulka 5: Sypané, setřesené, měrné hmotnosti kameniv a jejich mezerovitosti

5.1. Zkoušky objemů směsí kameniv

Tyto zkoušky byly provedeny pro některé křivky zrnitosti směsí kameniv.

Zkušební pomůckou byla kovová nádoba o objemu 2,228 litru s přepadem.

Zkušební postup:

Nádoba má tu vlastnost, že její objem je díky přepadu stále konstantní. Tento objem byl odměřen, zapsán. 2,228 litru.

Bylo namíchána směs kameniva zkoumané receptury v objemu 2,500 litru.

Poté bylo nasypáno do odměrného válce na objem 2x 1 l a doplněk 230 ml, /hmotnosti byly zaznamenány/. Tedy sytný objem kameniva byl 2,230 litru.

Zaznamenána celková hmotnost navážky v nádobě. Do nádoby byla poté

nalita voda, aby byla zrna téměř všechna ponořena. Bylo z vibrováno na

vibračním stole. Voda poté byla nalita tak, že objem nalitý navíc přetekl přes

přepad. Hmotnost vlité vody byla zaznamenána jako „voda vlitá“. Z její

hmotnosti a objemu nádoby byl vypočten „objem kameniva“ a také

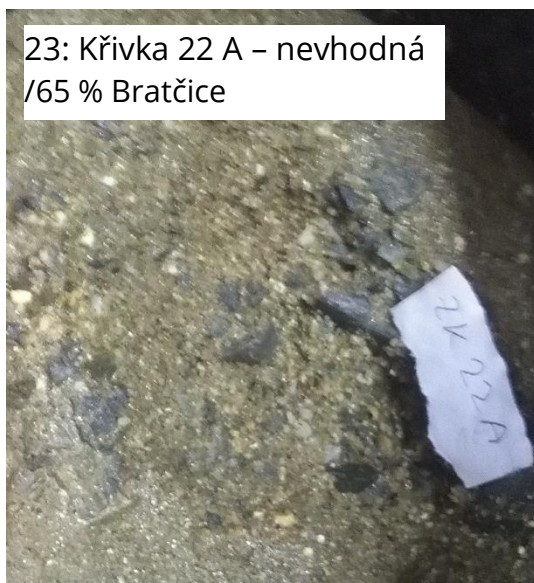
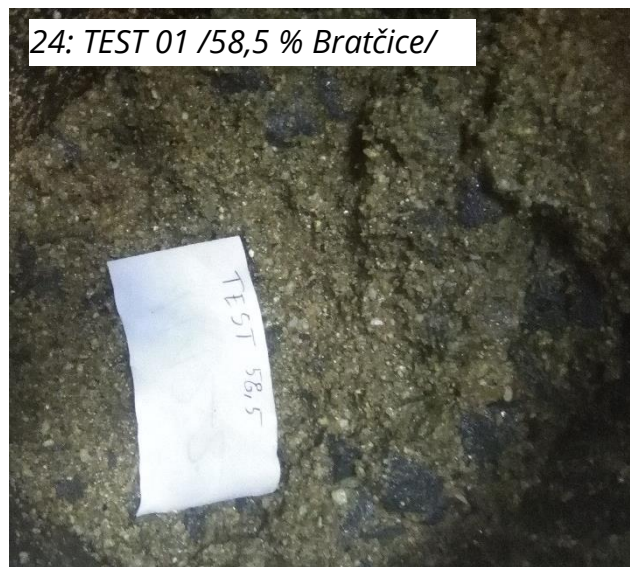
mezerovitost měřená“ směsi. Z měrné hmotnosti směsi a setřesené

hmotnosti vypočítána „mezerovitost výpočtem“.

[kg/m ³], [%], [Δ %]	R01-LUL	R01-OL	R02-LUL	ZK 22 C	ZK 22 A	VÍC 0/4 OLB	TST 01
měrná hm. směsi	2642	2651	2639	2668	2637	2644	2636
2,23 litru setřes. [g]	3477	2883	3503	3263	3185	3395	3361
setřes. hm. směs	1560	1290	1571	1460	1430	1520	1510
mezer. výpočtem	41,0	51,3	40,5	45,3	45,8	42,5	42,7
voda vlitá [g]	779	891	773	932	911	860	876
objem kameniva [cm ³]	1449	1130	1337	1296	1317	1368	1352
mezer. měřením	34,9	40,0	34,7	41,8	40,9	38,6	39,3
delta mezerovitost	-6,0	-11,4	-5,8	-3,5	-4,9	-3,9	-3,4

Tabulka 6: tabulka zkoušek objemů směsí

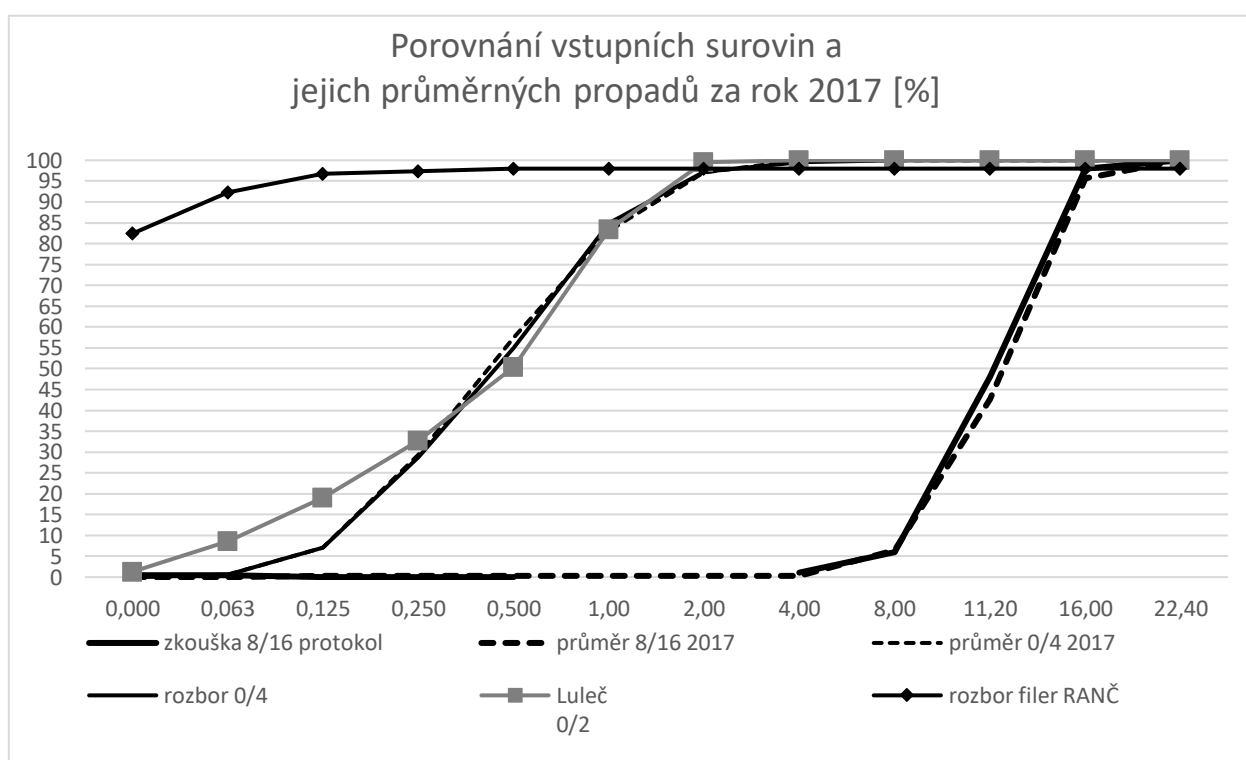
Fotodokumentace zjišťovaných směsí kameniv:



5.2 Síťové rozbory vybraných kameniv

Na vybraných kamenivech byly provedeny síťové rozbory, které měly porovnat, zda rozbory provedené za rok 2017 ve firemní zkušebně vypovídají o hodnotách, které se neliší od kameniva nachystaného pro provedení experimentu.

Následující obrázek srovnává kamenivo 8/16 Olbramovice, {protokol viz příloze}, písek Bratčice, filer Rančířov a 0/2 Luleč.



Obrázek 26: porovnání propadů za rok 2017

Z výsledků zkoušek bylo potvrzeno, že průměrné roční hodnoty lze dále používat při výpočtu.

5.1 Zkoušky tvaru a tvarového indexu

Na kamenivu 11/22 byly detailně přeměřeny rozměry zrn. Jejich rozměry uvedou následující tabulky. Spolu s tabulkou průměrných tvarových indexů dle normy ČSN EN 933-4 za rok 2017.

Kamenivo Olbramovice 11/22

n	stav	tvár. index	L	B	E
1	ok	1,9	34,10	28,30	17,80
2	ok	2,3	34,90	25,30	15,10
3	ok	1,0	14,10	16,40	14,20
<i>hodnoty 5 až 78 proměřeny ale nezobrazeny</i>					
79	ok	2,8	32,72	20,18	11,58
80	ok	1,6	27,32	21,9	17,17
81	ok	1,7	26,83	19,3	15,57
82	ok	2,2	29,55	14,75	13,51
83	ok	3,0	31,79	16,54	10,60
85	ok	1,6	20,96	19,15	12,76
4	NEvyhoví	3,2	34,20	12,70	10,70
11	NEvyhoví	4,0	42,93	18,60	10,65
25	NEvyhoví	3,4	37,98	17,50	11,31
27	NEvyhoví	4,2	37,31	17,64	8,99
31	NEvyhoví	4,1	35,69	20,59	8,80
36	NEvyhoví	3,0	30,34	19,44	10,06
40	NEvyhoví	4,1	32,59	17,90	8,00
47	NEvyhoví	3,5	37,75	17,30	10,75
48	NEvyhoví	4,5	34,40	17,19	7,62
53	NEvyhoví	4,0	30,10	22,13	7,60
84	NEvyhoví	3,2	29,19	16,22	9,24
celkem		x tvár. index	x délka	x šířka	x tloušťka
		2,34	30,51	19,61	13,69
počet co nevyhoví		< - - - směrodatná odch. - - - >			
11		0,55	4,39	2,73	2,53
vyhoví [g]		2,14	29,88	19,86	14,32
1004		0,38	4,33	2,78	2,26
nevyhoví [g]		3,73	34,77	17,93	9,43
72		0,44	3,24	1,64	1,15

Tabulka 7: přesné rozměry zrn kameniva Olbramovice

Kamenivo Luleč 11/22

n	stav	tvár. index	L	B	E
1	ok	2,6	46,77	38,50	18,05
<i>hodnoty 5 až 101 proměřeny ale nezobrazeny</i>					
103	ok	1,8	35,99	20,32	20,43
105	ok	1,6	24,01	19,35	15,11
2	NEvyhoví	3,9	32,97	20,68	8,45
3	NEvyhoví	3,2	53,65	24,35	16,72
4	NEvyhoví	4,2	44,49	19,00	10,68
10	NEvyhoví	3,1	31,25	18,56	10,13
12	NEvyhoví	3,5	36,91	20,16	10,43
13	NEvyhoví	5,1	57,59	15,88	11,26
16	NEvyhoví	3,1	39,82	21,39	12,78
18	NEvyhoví	6,3	37,38	26,49	5,92
21	NEvyhoví	7,0	38,75	20,09	5,57
27	NEvyhoví	4,1	35,63	22,72	8,79
32	NEvyhoví	3,6	25,82	23,95	7,18
36	NEvyhoví	6,0	37,60	19,12	6,25
<i>hodnoty proměřeny, ale nezobrazeny</i>					
70	NEvyhoví	3,8	28,42	21,60	7,41
71	NEvyhoví	3,5	28,61	23,10	8,27
80	NEvyhoví	5,1	24,84	16,05	4,87
86	NEvyhoví	3,1	30,28	17,35	9,68
102	NEvyhoví	4,1	42,00	20,94	10,28
104	NEvyhoví	3,0	30,06	16,95	9,93
celkem		x tvár. index	x délka	x šířka	x tloušťka
		2,59	30,47	19,93	12,73
počet co nevyhoví		< - - - směrodatná odch. - - - >			
26		0,78	6,71	2,64	2,88
vyhoví [g]		2,10	28,72	19,88	13,88
802		0,36	6,06	2,80	2,43
nevyhoví [g]		4,06	35,79	20,09	9,25
223		0,92	6,67	2,15	2,08

Tabulka 8: přesné rozměry zrn kameniva Luleč

Tvarový index rok 2017 [%]	
Olbram 4-8	17,8
Olbram 8-16	15,2
Olbram 11-22	8,9
Luleč 4-8	19,6
Luleč 8-16	12,9
Luleč 11-22	9,0

Tabulka 9: Průměrné hodnoty tvarových indexů kameniv

6 POPIS RECEPTUR

Při popisu budu hovořit o výraze „měrná“, čímž je myšleno složení na 1 metr krychlový míchaného objemu. Výraz „absolutně“ bude použit k vyjádření dávky k míchanému objemu.

Při míchání receptur byla dodržena stejná doba vibrace, 7 + 8 sekund.

Tedy i toto by mohl být důvod nedostatečných pevností u některých receptur.

A u receptury míchané v laboratořích VUT FAST /F-OL 22/ bylo vibrováno na vibračním stole s nerovnoměrnou amplitudou {ukáže obrázek č. 27}.

Zkoušky na ztvrdlém betonu, jež ukázaly jednotýdenní a čtyřtýdenní pevnosti a příslušné objemové hmotnosti receptur byly provedeny v laboratoři v Bosonohách. Na centru AdMaS byly zkoušeny moduly pružnosti, na fakultě pak dynamické moduly.

6.1 RECEPTURY REFERENČNÍ

01. R01-LUL; 02. R02-LUL / D_{\max} 22 mm/

míchány 6.04.18'

07. - R-03

/ D_{\max} 16 mm/

míchána 16.04.18'

receptura [%]	R-01 LUL	R-02 LUL	R-03 LUL /16/
Olbram 4-8			
Olbram 8-16			
Olbram 11-22			
Luleč 0-2			
Luleč 4-8	16,59	10,00	19,46
Luleč 8-16	23,35	25,00	31,41
Luleč 11-22	18,51	17,00	0,00
Bratčice-prané	41,55	48,00	49,13
Žabčice			
řiler Rančřřov			

- jsou referenční receptury, kde křivka zrnitosti je navržena podle W.B.Fullera & S.E.Thompsona, podle vzorce, který byl uveden již v roce 1907.

Následující tabulka uvádí propady

jednotlivými sítě receptury 1, receptury 2 a originální Fullerovy křivky. Směs byla míchána pouze z kameniva Luleč.

Při zkoušce objemu se předpokládalo, že tato směs bude dávat nejmenší objem vody, kterou se dokáží vyplnit póry mezi zrny. Dle mého názoru je to proto, že drtiče v lomu Luleč dokáží vyprodukovat drcením zrna blížící se oválným tvarům, koulím, se kterými počítal W.B. Fuller. Svým tvarem a povrchem se vzdáleně blíží valounům těženým. Byly provedeny zkoušky tvarového indexu.

Tabulka propadů síty

síto	zůstatek originál	zůstatek referenční	zůstatek upravený
řada sít; označení	Fuller originál křivka	R-01_LUL	R-02_LUL
0,000	0,000	0,004	0,004
0,063	5,303	0,414	0,433
0,125	7,470	3,036	3,461
0,250	10,564	12,310	14,175
0,500	14,940	24,006	27,687
1,0	21,129	34,636	39,967
2,0	29,881	41,892	47,559
4,0	42,258	59,108	59,376
8,0	59,761	68,744	69,088
11,2	70,711	82,448	83,761
16,0	84,515	98,936	99,023
22,4	100,000	100,000	100,000
Mezerovitost vypočtená		41 %	40,5 %
Mezerovitost naměřená		35 %	35 %

Tabulka 10: propady síty referenční receptury

6.1.1 Vlastnosti čerstvých směsí

Při míchání bylo u **R-01** zjištěno, že nemá dostatek jemných a drobných podílů, vůbec se směs nechtěla hýbat. Poměr byl drobné - 0,71:1 - hrubé. Musela tedy být navýšena dávka plastifikátoru z 1,5 kg na 1,8 kg k dávce cementu. Měrně pak voda byla 180 l/m³ betonu. Konzistence sednutím 10 minut po zamíchání vyšla prvně 95 mm, po přidání vody a plastifikační přísady byla 182 mm.

Potvrzení čerpatelnosti obráceným kuželem byla bez přidání vody a plast. neproveditelná, poté sice propadlo obráceným kuželem, ale jen s velkou pomocí - ručním třepáním. Dále objemová hmotnost čerstvého betonu

zjištěná dle normy ČSN EN 12350-6 „Objemová hmotnost“ byla naměřena a vypočtena 2300 kg/m³ a také obsah vzduchu /tlakovou metodou/, který byl ve směsi 3,5 %. Po dvaceti minutách /30 od zamíchání/ změřeno sednutí kužele, s hodnotou 163 mm. Konzistence tedy po celou dobu S4.

U receptury **R-02** byla provedena úprava poměru kameniva, a to s poměrem drobné - 0,92:1 - hrubé, s měrnou dávkou vody 171 litrů a plastifikační přísadou 0,5 % k dávce cementu, tedy 1,8 kg/m³. Při menší dávce vody (o 9 l méně než R-01) byla zpracovatelnost zlepšena, směs propadla obráceným kuželem bez problému, nepotřebovala dopomoc. Bylo to za 5 + 4 sekundy. Pět sekund byl kužel plynule zvedán a další čtyři sekundy směs padala volným pádem z výšky cca 300 mm. Sednutí kužele 190 mm > 157 mm, konzistence po zaokrouhlení stále S4. Obsah vzduchu 1,9 %, objemová hmotnost ČB 2330 kg/m³.

V receptuře **R-03** bylo použito kamenivo, které zůstalo na síti maximálně 16 mm, podle Fullerovi křivky. Objemová hmotnost na čerstvém betonu byla 2280 kg/m³ a obsah vzduchu 2,4 %. Sednutí z 170 mm /S4/ spadla po dvaceti minutách na 150 mm, tedy na S3.

6.1.2 Zkoušky ztvrdlý beton

R 01 – C25/30 - S4 D_{max} 22 mm: průměrná pevnost v tlaku po sedmi dnech vyšla 37,5 MPa, s objemovou hmotností 2310 kg/m³. viz protokol o zkoušce:

Datum a čas odběru:	06.04.2018 13:00	Datum dodání:	09.04.2018	Datum zahájení zkoušky:	13.04.2018
Stáří tělesa (dny):	7			Druh tělesa:	krychle 150 mm
Způsob ošetřování v laboratoři:	vlhké uložení dle ČSN			Způsob úpravy zkušebních těles:	bez úprav
Označení vzorku - číslo tělesa		01266-A	01266-B		
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 18 kg/m³					
Hmotnost tělesa	kg	7,823	7,957		
Šířka	mm	150,6	150,8		
Délka	mm	150,7	150,7		
Výška	mm	150,1	151,3		
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů			
Objem	dm ³	3,405	3,439		
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 300	2 310		
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 310			
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,7 MPa					
Maximální zatížení při porušení	kN	787,2	897,8		
Plocha	mm ²	22 500	22 500		
Pevnost v tlaku	MPa	35,0	39,9		
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	37,5			
Způsob porušení:	vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.					
Místo provedení zkoušek:	laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 11: z protokolu pevností 7d

Konečné /sledované/ 28denní pevnosti se zvýšily na 45,6 MPa /o 8,1 MPa/ a objemová hmotnost zůstala stejná, 2310 kg/m³.

Označení vzorku - číslo tělesa		01267-A	01267-B	01267-C
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 18 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,924	7,795	7,769
Šířka	mm	150,5	149,8	149,9
Délka	mm	150,6	150,2	150,0
Výška	mm	150,1	151,0	150,1
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,401	3,397	3,375
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 330	2 290	2 300
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 310		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 2,1 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	1 056,3	997,4	1 022,9
Plocha	mm ²	22 500	22 500	22 500
Pevnost v tlaku	MPa	46,9	44,3	45,5
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	45,6		
Způsob porušení:	vyhovující			
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek:	laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16	

Tabulka 12: z protokolu pevností 28d

Pevnost krychle /6./ uložené po odformování ve vodě, až do odvozu na AdMaS, byla 51,0 MPa.

Nejen proto bych po přidání 10 kg cementu na m³ betonu provedl zařazení do pevnostní třídy C 35/45 /ověřená zkouškou/.

R 02 - C25/30 - S4 Dmax 22 mm: průměrně pevnost ze dvou těles vyšla 38,2 MPa, kde objemová hmotnost byla 2310 kg/m³. Viz protokol o zkoušce na obrázku.

Označení vzorku - číslo tělesa		01268-A	01268-B	
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 18 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,846	7,931	
Šířka	mm	150,0	150,8	
Délka	mm	150,1	150,9	
Výška	mm	150,8	150,8	
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,395	3,431	
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 310	2 310	
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 310		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,8 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	875,7	844,2	
Plocha	mm ²	22 500	22 500	
Pevnost v tlaku	MPa	38,9	37,5	
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	38,2		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 13: z protokolu pevností 7d

Zkoušky čtyřtýdenních vlastností ukázaly že pevnost vzrostla o 7,2 MPa na 45,4 MPa; OH téměř neznatelně odlehčila vzorek o 10 kg/m³.

Označení vzorku - číslo tělesa		01269-A	01269-B	01269-C
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 18 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,857	7,814	7,780
Šířka	mm	150,0	150,9	149,9
Délka	mm	150,1	150,5	149,9
Výška	mm	150,4	150,3	151,2
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,386	3,411	3,398
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 320	2 290	2 290
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 300		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 2,1 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	1 044,4	962,1	1 060,0
Plocha	mm ²	22 500	22 500	22 500
Pevnost v tlaku	MPa	46,4	42,8	47,1
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	45,4		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 14: z protokolu pevností 28d

Krychle č.6 zmáčknutá na centru AdMaS měla pevnost 42,7 MPa
Nejen proto bych i tuto recepturu upravil přidáním 10 kg cementu na m³ betonu a provedl zařazení do pevnostní třídy C 35/45 /ověřené zkouškou/.

6.2 RECEPTURA S PŘETRŽITOU KŘIVKOU

Receptura 03. - TST 01

/ D_{\max} 22 mm/

míchána 9.04.18'

Jednalo se o testovací směs kameniva bez /frakce/ 4/8. Tato chybějící frakce byla doplněna drobným těžším kamenivem 0/4 - prané Bratčice.

receptura TST 01	[%]	propady směsi [%]	
Olbram 4-8		0,000	0,00
Olbram 8-16		0,063	0,51
Olbram 11-22	19,00	0,125	4,20
Luleč 0-2		0,25	17,25
Luleč 4-8		0,50	33,72
Luleč 8-16	22,50	1,0	48,69
Luleč 11-22		2,0	56,89
Bratčice-prané	58,50	4,0	60,50
Žabčice		8,0	67,44
fíler Rančřívov		11,2	87,10
		16,0	99,71
		22,4	100,00

Frakce 8/16 je původem z Luleče, 11/22 pro svůj tvar pak z Olbramovic {viz tabulka}.

Od této směsi je očekáváno, že bude mít lepší moduly než při zkoušení receptur jen z Luleče. Olbramovice budou

Tabulka 15: receptura TST 01 a její propady

lépe spolupůsobit s cemen-

tovou maticí díky svému hrubému/drsnému povrchu.

To se potvrdilo jen částečně, viz kapitola porovnání modulů.

Sypná hmotnost směsi odměřená ve válci vyšla 1510 kg/m^3 .

Mezerovitost směsi kameniva použitá v receptuře tedy 42,7 %,

Objem, který zaujímá kamenivo mou zkouškou mezerovitosti umožnilo vlít do směsi 876 g vody, tedy naměřená a vypočtená mezerovitost byla 39,3 %.

Odchylka těchto dvou hodnot může být daná nepřesností měření a také obsažené vlhkostí kameniva.

Tedy lze předpokládat že pevnost bude menší, bylo potvrzeno.

6.2.1 Zkoušky čerstvého betonu

Ukázali zpracovatelnost $S_4 > S_3 / 180 > 120 \text{ mm/}$, vzduch 3,2 %, OH 2290 kg/m^3 , čerpatelnost obráceným kuželem 4+3 s.

6.2.2 Zkoušky ztvrdlý beton:

Označení vzorku - číslo tělesa		01368-A	01368-B	
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 17 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,534	7,460	
Šířka	mm	150,1	150,0	
Délka	mm	150,1	150,0	
Výška	mm	148,4	149,2	
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,343	3,356	
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 250	2 220	
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 240		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,4 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	702,4	677,8	
Plocha	mm ²	22 500	22 500	
Pevnost v tlaku	MPa	31,2	30,1	
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	30,7		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 16: z protokolu pevností 7d

Objemová hmotnost po týdnu je 2240, pevnost pak 30,7 MPa.

Označení vzorku - číslo tělesa		01369-A	01369-B	01369-C
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 17 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,626	7,542	7,424
Šířka	mm	149,9	149,9	150,0
Délka	mm	150,0	149,9	149,9
Výška	mm	150,6	149,1	150,2
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,386	3,349	3,378
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 250	2 250	2 200
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 230		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,9 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	925,7	927,8	918,9
Plocha	mm ²	22 500	22 500	22 500
Pevnost v tlaku	MPa	41,1	41,2	40,8
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	41,0		
Způsob porušení: vyhovující				
Radim Helma, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 17: z protokolu pevností 28d

Čtyřtýdenní OH je 2230 kg/m³, pevnost 41,0 MPa.

Modul pružnosti nakonec nevyšel, jak jsem předpokládal, byl nižší než u referenčních směsí z Lulče. Ale vyšší než použití Olbramovic Dmax 16 mm a než s kamennými odprašky. Stejný jako následující směs 0/2-02.

{jak bude zhodnoceno dále}

6.3 RECEPTURY S KAMENIVEM LULEČ 0/2

Receptury 04. - 0/2-01; 05. - 0/2-02 / D_{\max} 22 mm/ míchány 13.04.18'

Tyto receptury jsou namíchány s různým procentuálním použitím drobného kameniva vzniklého drcením v lomu Luleč, určený horním sítem 2 mm. Toto kamenivo sice není oficiálně určeno pro použití do betonu, ale jako vedlejší produkt lomu by zde mohl nalézt užitek. Záměsi byly míchány v menším objemu, 24 dm³. Toto ale byla chyba. práce s měřením údajů totiž byla stejná, a také i úklid laboratoře byl stejně nutný.

0/2-01 - C25/30 - S4 D_{\max} 22 mm: Poměr drobných kameniv je 60% 0/2 LUL; 40 % Bratčice.

pevnost po týdnu byla 29,2 MPa (stanoveno na jedné krychli $a=150$ mm).

Objemová hmotnost v ztvrdlém stavu 2270 kg/m³. Viz obrázek z protokolu.

Označení vzorku - číslo tělesa		01500-A		
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 17 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,606		
Šířka	mm	149,7		
Délka	mm	149,5		
Výška	mm	149,6		
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,347		
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 270		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,4 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	657,2		
Plocha	mm ²	22 500		
Pevnost v tlaku	MPa	29,2		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 18: z protokolu pevností 7d

čtyřtýdenní pevnosti vyšly 36,3 MPa, stanovené na dvou krychlích. Objemová hmotnost se nezměnila /2270 kg/m³/.

Označení vzorku - číslo tělesa		01501-A	01501-B	
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 17 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,734	7,665	
Šířka	mm	150,6	150,4	
Délka	mm	150,6	150,3	
Výška	mm	150,2	150,4	
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,407	3,398	
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 270	2 260	
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 270		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,7 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	803,4	829,9	
Plocha	mm ²	22 500	22 500	
Pevnost v tlaku	MPa	35,7	36,9	
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	36,3		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16				

Tabulka 19: z protokolu pevností 28d

02-02 C25/30 - S4 D_{max} 22 mm: poměr 20% LUL 0/2; 80 % Bratčice.

Pevnost a objemová hmotnost po sedmi dnech vyšla 35,6 MPa a 2300 kg/m³.

Jak je uvedeno na obrázku z protokolu.

Označení vzorku - číslo tělesa		01502-A		
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 18 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,736		
Šířka	mm	149,8		
Délka	mm	149,9		
Výška	mm	149,9		
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,367		
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 300		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,7 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	802,0		
Plocha	mm ²	22 500		
Pevnost v tlaku	MPa	35,6		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16				

Tabulka 20: z protokolu pevností 7d

Po čtyřech týdnech pevnost dosáhla hodnoty 43,8 MPa, Objemová hmotnost se zmenšila o 30 kg/m³ na 2270 kg/m³.

Označení vzorku - číslo tělesa		01503-A	01503-B	
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 17 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,744	7,652	
Šířka	mm	150,8	150,0	
Délka	mm	150,7	150,0	
Výška	mm	150,2	150,1	
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,414	3,378	
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 270	2 270	
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 270		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 2 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	986,2	985,0	
Plocha	mm ²	22 500	22 500	
Pevnost v tlaku	MPa	43,8	43,8	
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	43,8		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 21: z protokolu pevností 28d

6.4 RECEPTURY S KAMENNÝMI ODPRAŠKY

Receptura 06. – F-LU 22 / D_{max} 22 mm/

16.04.18'

Receptura 09. - F-OL 22 / D_{max} 22 mm/

25.4.18'

Tyto receptury používají kamenný odprašek, {dále jako filer}. V množství 4,00 % k hmotnosti kameniva, tedy měrně v množství 73,97 kg/m³. A dále veškeré hrubé drcené kamenivo /06./ z Luleče a /09./ z lomu Olbramovice.

receptura [%]	F LU 22	F OL 22
Olbram 4-8		10,00
Olbram 8-16		25,00
Olbram 11-22		17,00
Luleč 0-2		
Luleč 4-8	14,52	
Luleč 8-16	20,52	
Luleč 11-22	16,96	
Tabulka 22: receptury s filerem		
Základní		
filer Rančářov	4,00	4,00

6.4.1 Zkoušky ztvrdlý beton

Týdenní pevnost a objemová hmotnost vyšla u záměsi F-LU 22 29,0 MPa a 2260 kg/m³. Tak, jak je uvedeno na obrázku z protokolu.

Označení vzorku - číslo tělesa		01504-A	01504-B	
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 17 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,602	7,477	
Šířka	mm	150,0	149,6	
Délka	mm	150,0	149,5	
Výška	mm	149,8	148,8	
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,370	3,328	
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 260	2 250	
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 260		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,4 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	663,5	639,3	
Plocha	mm ²	22 500	22 500	
Pevnost v tlaku	MPa	29,5	28,4	
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	29,0		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 23: z protokolu pevností 7d

po čtyřech týdnech pak 32,2 MPa, na krychli č. 6 byla pevnost 39,3 MPa.

Označení vzorku - číslo tělesa		01505-A	01505-B	01505-C
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 17 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,596	7,626	7,683
Šířka	mm	150,1	150,1	150,8
Délka	mm	150,0	150,3	150,8
Výška	mm	149,5	150,0	149,2
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,367	3,384	3,396
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 260	2 250	2 260
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 260		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,5 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	726,7	730,8	717,9
Plocha	mm ²	22 500	22 500	22 500
Pevnost v tlaku	MPa	32,3	32,5	31,9
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	32,2		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 24: z protokolu pevností 28d

6.4.2 Receptura F-OL 22

Byla míchána a zkoušena ve škole, Obsah vzduchu /8litrová nádoba/ ve vzorku byl 2,2 %, objemová hmotnost vyšla 2290 kg/m³. obrácený kužel 4+6 s.

Protokoly o zkoušce nejsou ze školní laboratoře k dispozici, rozměr krychlí je průměr ze čtyř měření, síla odečtená na stupnici.

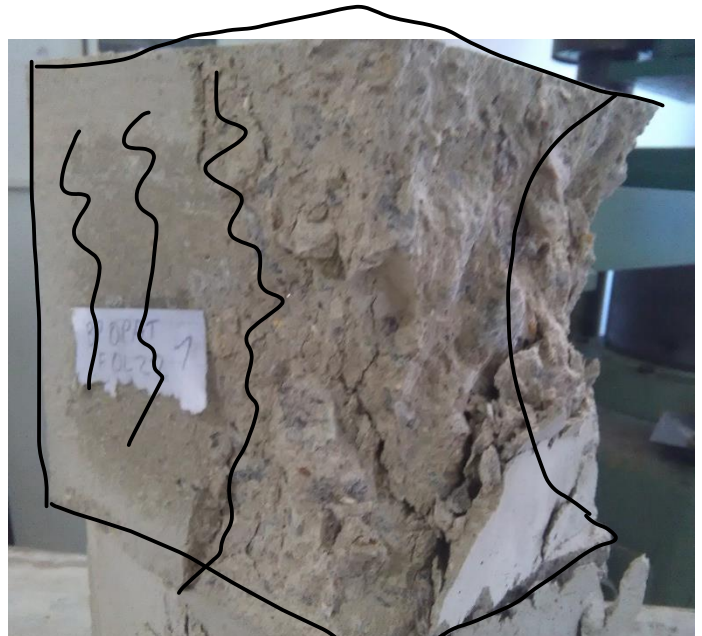
6.4.3 Zkoušky ztvrdlý beton

Průměrná pevnost receptury F-OL 22 /1týden/ je 20,0 MPa, /4týdny/ pak 25 MPa. Objemové hmotnosti 2270 a následně 2240 kg/m³.

Nedostatečná pevnost u vzorku 09. receptury je zapříčiněná vodou, která musela být přidána, protože plastifikační přísada po cestě z Bosonoh na fakultu nějak přestala reagovat v z počátku času od zamíchání. Směs se vůbec nehýbala a měla podobu betonu pro prefabrikaci se sednutím 45 mm. Po přidání vody směs měla sednutí 110 mm, dalším přidáním vody /o absolutně 380 ml; měrně 9,36 litru/ sedlo jen o deset milimetrů víc /120 mm/, vodu jsem přestal přidávat, nemělo by další význam /měrně tedy 198 l/m³/.

Sednutí 180 by nebylo možné dosáhnout. Pokud ano, směs by krvácela a kamenivo by mohlo sedimentovat ke dnu formy - výrobku.

Při výrobě těles a zkoušky obsahu vzduchu byla směs vibrována na jiném vibračním stole s jinými parametry vibrace. Délku vibrace jsem tedy posoudil vizuálně a zvolil 12 vteřin. Jak bylo zmíněno, vzorek je nerovnoměrně zhutněn, což dokazuje nestandardní porušení při zkoušení zřejmé z fotky.



Obrázek 27: nesymetrické porušení krychle

6.5 RECEPTURY S POUŽITÍM $D_{max} 16$ mm

Receptura 08. - F-OL 16

/ D_{max} 16 mm/

míchána 16.04.18'

Receptura 09. – R-03

popsána výše

míchána 16.04.18'

U těchto receptur nebylo použito hrubé kamenivo fr. 11/22. Propady jsou tedy omezeny horním sítem 16 mm /resp. 22,4 mm bez zůstatku/.

síto	propady směsi [%]		
	fuller orig	R-03	F-OL 16
0,000	0,000	0,00	0,00
0,063	6,275	0,45	5,07
0,125	8,839	3,55	6,12
0,25	12,500	14,51	9,11
0,50	17,678	28,34	18,78
1,0	25,000	40,91	30,96
2,0	35,355	49,48	41,99
4,0	50,000	69,97	49,71
8,0	70,711	80,52	69,74
11,2	83,666	98,95	81,98
16,0	100,000	100,00	98,63
22,4			100,00

Tabulka 26: propady síty receptur D_{max} 16mm

receptura [%]	F-OL 16	R-03
Olbram 4-8		
Olbram 8-16	31,41	
Olbram 11-22		
Luleč 0-2		
Luleč 4-8	19,46	19,46
Luleč 8-16		31,41
Luleč 11-22		0,00
Bratčice-prané	43,13	49,13
Žabčice		
filer Rančřřov	4,00	

Tabulka 25: receptury D_{max} 16 mm

Zkoušky ztvrdřřého betonu

Pevnost betonu stanovená po sedmi dnech, spolu s objemovou hmotností vyšly u rec. R-03 OL 30,6 MPa a 2240 kg/m³. Dle protokolu zkoušky.

Označení vzorku - řříslo řřřřesa		01506-A	01506-B	
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdřřého betonu dle řřřř EN 12390-7, řřř. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měřření U = 17 kg/m³				
Hmotnost řřřřesa	kg	7,526	7,590	
řřřřka	mm	149,9	150,3	
Dřřřka	mm	150,0	150,1	
Vřřřka	mm	149,1	151,1	
Metoda urřření objemu		ze zmřřřených rozmřřřř		
Objem	dm ³	3,354	3,409	
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 240	2 230	
Prřřřrnřřá objemová hmotnost	kg/m ³	2 240		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkouřřebních řřřřes dle řřřř EN 12390-3; nejistota měřření U = 1,4 MPa				
Maximální zatřřžení přřř poruřření	kN	624,7	750,6	
Plocha	mm ²	22 500	22 500	
Pevnost v tlaku	MPa	27,8	33,4	
Prřřřrnřřá pevnost v tlaku	MPa	30,6		
Zpřřsob poruřření:	vyhovující			
Tomáš Valehrach, laborant prohlašřřje, řřže zkoušky 16, 17 proved(a) v souladu s přřřřřřnými zkouřřebními postupy.				
Mřřsto provedení zkouřřek:	laboratořř	Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 27: z protokolu pevností 7d

Čtyřtýdenní vlastnosti: OH 2230 kg/m³, /tedy o 10 kg/m³ více/, pevnost 37,3 MPa

Označení vzorku - číslo tělesa		01507-A	01507-B	01507-C
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 17 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,638	7,460	7,554
Šířka	mm	150,7	150,8	150,1
Délka	mm	150,5	150,7	150,2
Výška	mm	150,2	148,6	150,0
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,408	3,376	3,382
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 240	2 210	2 230
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 230		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,7 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	831,0	843,2	845,6
Plocha	mm ²	22 500	22 500	22 500
Pevnost v tlaku	MPa	36,9	37,5	37,6
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	37,3		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 28: z protokolu pevností 28d

Záměs F-OL 16 - C25/30 S4 - D_{max} 16 mm:

Vyšla po týdnu 31,9 MPa. A objemová hmotnost ztvrdlého betonu vyšla 2250 kg/m³.

Označení vzorku - číslo tělesa		01508-A	01508-B	
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 17 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,575	7,531	
Šířka	mm	149,8	150,1	
Délka	mm	149,8	150,1	
Výška	mm	150,2	149,0	
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,371	3,355	
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 250	2 240	
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 250		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,5 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	726,8	706,2	
Plocha	mm ²	22 500	22 500	
Pevnost v tlaku	MPa	32,3	31,4	
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	31,9		
Způsob porušení: vyhovující				
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek: laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16		

Tabulka 29: z protokolu pevností 7d

Po 28 dnech pevnost 35,2 MPa, OH 2260 kg/m³.

Označení vzorku - číslo tělesa		01509-A	01509-B	01509-C
(16) Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu dle ČSN EN 12390-7, čl. 1-5.4, 5.5.5-8; nejistota měření U = 17 kg/m³				
Hmotnost tělesa	kg	7,655	7,707	7,669
Šířka	mm	150,1	150,3	150,8
Délka	mm	150,0	150,5	150,6
Výška	mm	150,5	150,4	150,1
Metoda určení objemu		ze změřených rozměrů		
Objem	dm ³	3,387	3,401	3,408
Objemová hmotnost	kg/m ³	2 260	2 270	2 250
Průměrná objemová hmotnost	kg/m ³	2 260		
(17) Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních těles dle ČSN EN 12390-3; nejistota měření U = 1,6 MPa				
Maximální zatížení při porušení	kN	780,8	798,6	799,0
Plocha	mm ²	22 500	22 500	22 500
Pevnost v tlaku	MPa	34,7	35,5	35,5
Průměrná pevnost v tlaku	MPa	35,2		
Způsob porušení:	vyhovující			
Tomáš Valehrach, laborant prohlašuje, že zkoušky 16, 17 provedl(a) v souladu s příslušnými zkušebními postupy.				
Místo provedení zkoušek:	laboratoř		Akreditované zkoušky: vzorkování, 12, 15, 11; 17, 16	

Tabulka 30: z protokolu pevností 28d

7 SHRUTÍ VÝSLEDKŮ

7.1 Mezerovitosti kameniva

Provedenými zkouškami sypané a setřesené hmotnosti jednotlivých kameniv bylo zjištěno, že mezerovitost kameniva 11/22 neklesne pod 40 %, mezerovitost kameniv 8/16 je také větší než 40 %, u frakce 4/8 se hodnota mezerovitosti také pohybuje při 40 %.

Mezerovitost drobných kameniv těžených z Bratčic nebo Žabčic se pohybují okolo 31 %.

Nejméně mezerovité bylo kamenivo Luleč 0/2 s mezerovitostí v setřeseném stavu pouze 23,9 %. Nejvíce pak bylo mezerovitá kameniva 11/22 Luleč i Olbramovice, shodně 42 %,

V této výše uvedené kapitole bylo porovnán i dlouhodobý průměr objemových/měrných hmotností kameniv, s hmotnostmi se kterými se počítalo v rovnici absolutních objemů. Rovnice byla použita pro výpočet navážek jednotlivých složek. Odlišnosti od mnou zjištěných hmotností nejsou významné, a kdyby nebyl, změnilo by to množství kameniva celkově ve směsi. Protože by se změnila ve výpočtu jeho objemová hmotnost, daná procenty zastoupení jednotlivých zdrojů.

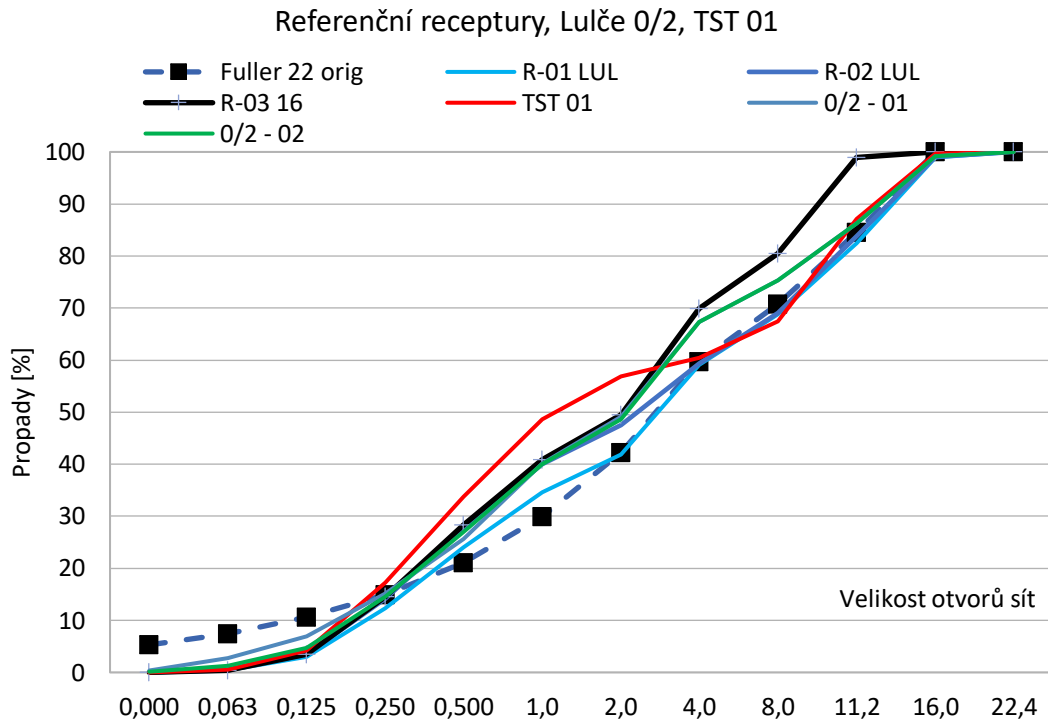
Při navažování kameniv v experimentu byla zohledňována vlhkost kameniva a také vlhkost na ovlhčení kameniva.

7.2 Křivky zrnitosti záměsí

Křivky zrnitostí byly vyhodnoceny na základě součtu propadů jednotlivými síty. Tyto součty vychází v zastoupení jednotlivých kameniv v receptuře pro jednotlivá síta. {Viz následující grafy.}

Při návrhu zrnitostí v referenčních recepturách bylo co nejvíce přiblíženo ke

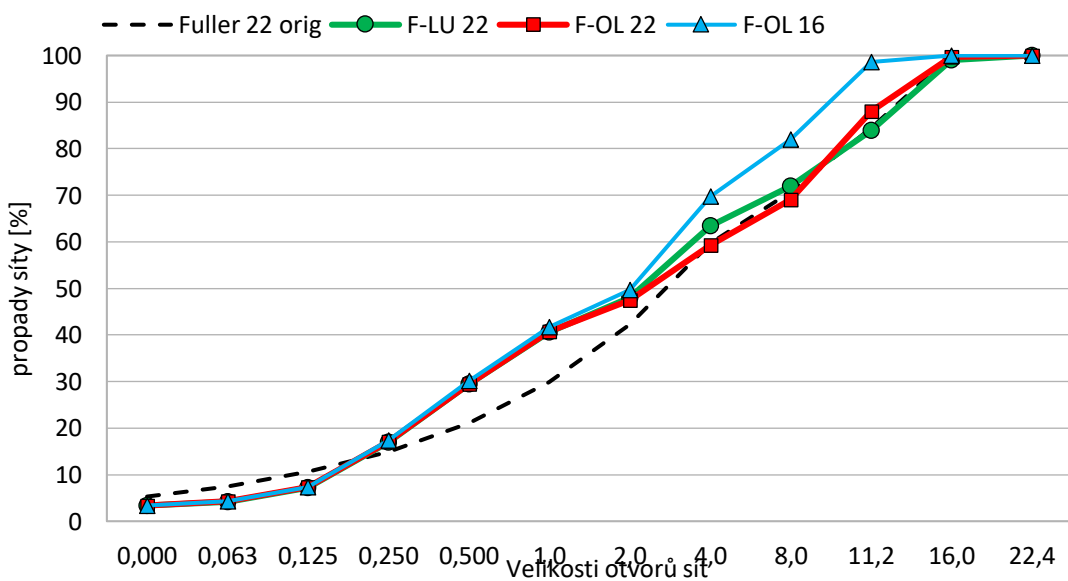
křivce Fullerově. Ostatní receptury mají křivky zrnitosti v pásmu křivek C 22 a A 22. Tedy jejich zrnitosti nejsou nevhodné.



Obrázek 28: graf čar zrnitosti

7.3 Přehled objemových hmotností

FILLER RANČÍŘOV + KAMENIVO LULEČ a nebo OLBRAMOVICE



Obrázek 309: graf čar zrnitosti

Čerstvé betony

Ukázaly vliv vody v záměsích. Od hmotností ztvrdlých betonů se v některých případech /TST 01, R-03/ lišili objemové hmotnosti čerstvého betonu výrazně /o padesát a čtyřicet kg/m³ betonu/.

Bylo potvrzeno, že čerstvý beton má větší hmotnost.

Ztvrdlé betonů

Objemové hmotnosti 7denní a 28denní u receptur byly klesajícího charakteru Zapříčiněného odpařováním vody z kapilárního systému, tedy odlehčování vzorku. Ale držely se téměř stejných hodnot.

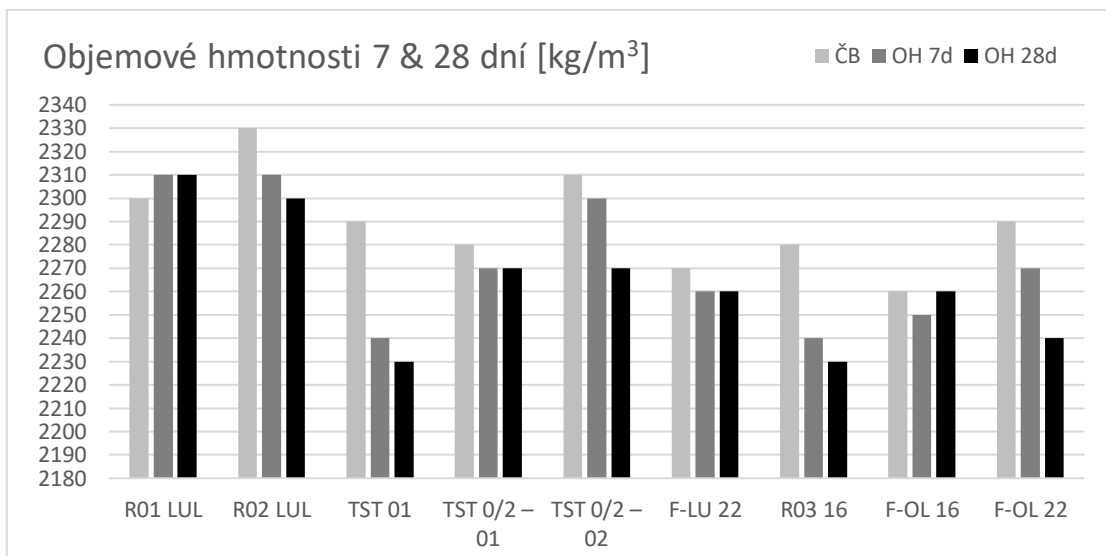
U receptury F-OL 22 je výrazný pokles způsoben /dle mého názoru/ uložením vzorku ve školních podmínkách v prostředí jen se zvýšenou vlhkostí. Vzorky ve vlhkém uložení nejsou automaticky ostříkovány, jak je tomu v laboratoři Betotech.

Viz hodnoty v následující tabulce.

číslo rec.	01.	02.	03.	04.	05.	06.	07.	08.	09.
název	R01 LUL	R02 LUL	TST 01	TST 0/2 – 01	TST 0/2 – 02	F-LU 22	R03 16	F-OL 16	F-OL 22
mícháno	06.04.18	06.04.18	09.04.18	13.04.18	13.04.18	16.04.18	16.04.18	16.04.18	25.04.18
ČB	2300	2330	2290	2280	2310	2270	2280	2260	2290
č. 3	2300	2310	2250	2270	2300	2260	2240	2250	2260
č. 4	2310	2310	2220			2250	2230	2240	2280
OH 7d	2310	2310	2240	2270	2300	2260	2240	2250	2270
č. 1	2330	2320	2250	2270	2270	2260	2240	2260	2250
č. 5	2290	2290	2250	2260	2270	2250	2210	2270	2260
č. 7	2300	2290	2200			2260	2230	2250	2200
OH 28d	2310	2300	2230	2270	2270	2260	2230	2260	2240
rozdíl 7d	-10	20	50	10	10	10	40	10	20
rozdíl 21d	0	-10	-10	0	-30	0	-10	10	-30

Tabulka 31: výsledky všech receptur:

objemové hmotnosti čerstvého a různě starého ztvrdlého betonu



Obrázek 31: graf všech objemových hmotností

7.4 Zpracovatelnost – čerpatelnost

Pro transportbetony bych doporučil všechny receptury. Horší čerpatelnost by dávala směs TST 0/2 - 01, kde je použito drobné kamenivo drcené, tedy ostrohranné. Zmírněním poměru vůči těžnému se vlastnost horší čerpatelnosti ztratí.

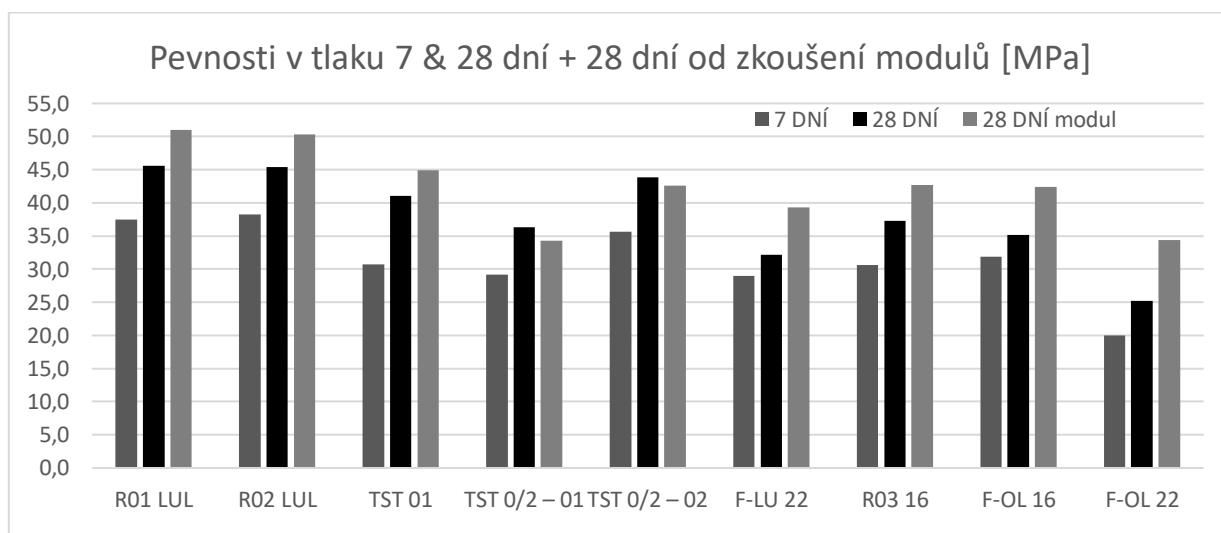
Bleeding byl u všech směsí negativní. I u směsi F-OL22, protože nebylo dále přidáváno vody.

Přisuzuji nové /zatím testované/ super plastifikační přísadě „dynamIQ flow L - 10“ od Rakouského výrobce Rohrdorfer.

7.5 Pevnosti v tlaku

PEVNOST v tlaku po sedmi a dvaceti osmi dnech:									
název	R01 LUL	R02 LUL	TST 01	TST 0/2 – 01	TST 0/2 – 02	F-LU 22	R03 16	F-OL 16	F-OL 22
mícháno	06.04.18	06.04.18	09.04.18	13.04.18	13.04.18	16.04.18	16.04.18	16.04.18	25.04.18
	35,0	38,9	31,2	29,2	35,6	29,5	27,8	32,3	18,0
	39,9	37,5	30,1			28,4	33,4	31,4	22,0
7 DNÍ	37,5	38,2	30,7	29,2	35,6	29,0	30,6	31,9	20,0
	46,9	46,4	41,1			32,3	36,9	34,7	21,3
	44,3	42,8	41,2	35,7	43,8	32,5	37,5	35,5	27,9
	45,5	47,1	40,8	36,9	43,8	31,9	37,6	35,5	26,3
28 DNÍ	45,6	45,4	41,0	36,3	43,8	32,2	37,3	35,2	25,2
28 DNÍ mokro	51,0	50,3	44,9	34,3*	42,6*	39,3	42,7	42,4	34,4
rozdílné 21d	8,1	7,2	10,3	7,1	8,2	3,2	6,7	3,3	5,2

Tabulka 32: pevnosti betonu v tlaku všech receptur



Obrázek 32: graf pevností všech receptur dvou uložení -

normové vlhké/7 dní & 28 dní/ a mokré/28dní moduly/

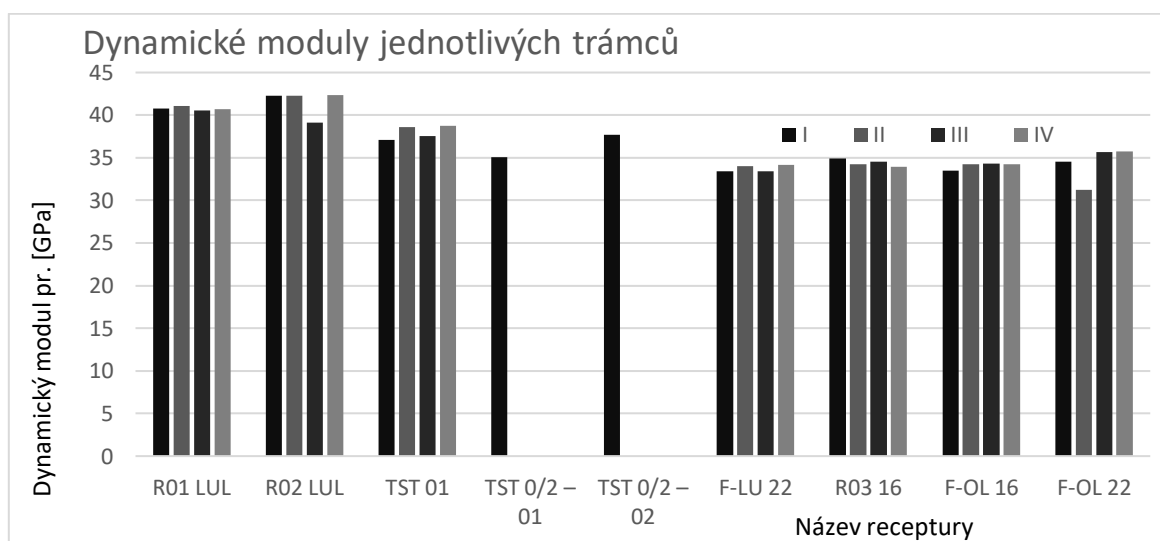
Pevnosti v tlaku u receptur vzrostly průměrně o 6,6 MPa. U referenčních receptur byl vzrůst výraznější. Také u receptury TST 01 byl výrazný, konkrétně pak 10,3 MPa. Nárůst receptur při použití fileru byl nejméně výrazný u všech receptur, průměrně jen o 3,9 MPa.

Potvrdilo se tvrzení ze zadání práce, že pevnosti receptur při použití D_{max} 22 mm přinese větší pevnosti. Pokud zprůměrujeme pevnosti receptur R-01,

R-02, TST 01, TST0/2-02, dostaneme pevnost 44,0 MPa. Tedy o 7,7 MPa větší, než při průměru rezeptur s D_{\max} 16 /R-03, F-OL 16/, který byl 36,3 MPa.

7.6 Moduly pružnosti

Na vzorcích trámů byly zkoušeny statické a poté i dynamické moduly pružnosti. Koeficient přepočtu hodnot modulů dynamických a statických je v mém případě /pro souhrn všech rezeptur/ roven: $E_{\text{stat}} = 0,6834 \cdot E_{\text{dynamický}}$.

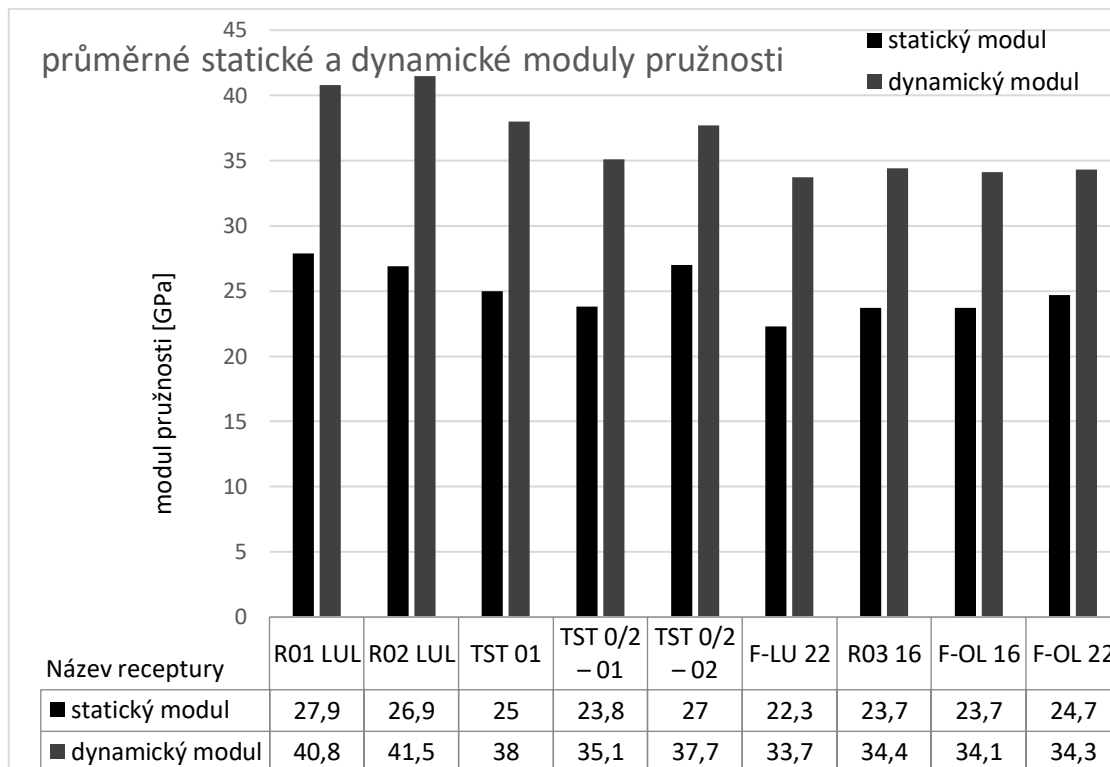


Obrázek 33: graf dynamických modulů jednotlivých trámů

Hodnoty modulů /statických/ jsou pro rezeptury s D_{\max} 22 mm o cca 4 GPa větší než při použití kameniva D_{\max} 16 mm. Dynamické i o 5 GPa. Takto bylo řečeno i v zadání, potvrdilo se to. Použití směsi drobného kameniva v poměru 0/LUL - 20,8:79,2 - Bratčice-P přineslo téměř totožné s rezepturou R-01, kde bylo použito jen kamenivo 0/4 Bratčice. Dle síťového rozboru kameniva z Bratčic se kamenivo také blíží 0/2. Má totiž 97% propad sítím 2 mm. Rezeptury s použitím fileru nedaly větší moduly. Byly menší, než bylo předpokládáno. Je to možná z toho důvodu, že bylo třeba více vody na ovlhčení jemných zrn. Tato voda se poté odpařila a zanechala póry. Přes ně se směs deformovala. Průchod ultrazvuku byl pomalejší.

Moduly pružnosti rezeptury TST 01 s 11/22 z Olbramovic dalo větší moduly než použití Lulče 11/22 v rezepturách F LU 22 a TST0/2 - 01.

Dynamické moduly pružnosti byly na každém trámci měřeny ve třech pozicích po úhlopříčce čela – střední, horní a dolní pozice. Hodnoty modulů jsou uvedeny pod grafem v tabulce.



Obrázek 34: graf statických a dynamických modulů všech receptur s tabulkou hodnot

ZHODNOCENÍ POZNATKŮ

V souladu se zadáním byla práce zaměřena na optimalizaci křivek kameniva používaného jako kamenivo do hutných betonů.

Byly ověřeny tvarové indexy hrubých kameniv. Zastoupení nevhodných zrn kolísá, ale drží se použitelných hodnot i pro transportbetony. Pokud je směs dopravována čerpadly s průměrem trub 110 mm, je zde rezerva téměř dvojnásobná /vzhledem k nevhodnému zrnu 66 mm/.

Vyšší pevnosti betonů, při použití většího zastoupení hrubé frakce 11/22 než je dáno Fullerovou rovnicí, se v mé experimentální části prokázaly poze vůči referenčním recepturám s $D_{\max} = 22$ mm.

Moduly pružnosti byly větší u záměsí s $D_{\max} 22$ mm než pouze s $D_{\max} 16$ mm. Potvrdilo se, že tento aspekt přinese ekonomický přínos, protože v návrhu konstrukce budou vypočteny menší průhyby, a že může být zmenšen stupeň vyztužení.

V teoretické části byl popsány matematické modely pro mísení frakcí kameniva dle Williama Barnarda Fullera & Sanforda Eleazera Thompsona, Bolomeyova rovnice, i je zmíněna EMPA rovnice.

V praktické části navrženo devět receptur s různými poměry různých kameniv. Dvou velikostí $D_{\max} - 16$ a 22 mm. Byly navrženy různé křivky zrnitosti a také přetržitá křivka bez frakce 4/8. Vlastnosti čerstvých směsí i zatvrdlých betonů byly sledovány s konstantní dávkou cementu a zpracovatelnosti S4.

Všechny receptury jsou po ověření zařazeny do pevnostní třídy C25/30.

Dvě receptury po zvýšení dávky cementu a ověření pevností doporučuji k zařazení do pevnostní třídy C35/45.

Jsou ro receptury R-01 LUL & R-02 LUL, kde doporučuji 370 kg cementu.

POPIS OBJEKTŮ A POUŽITÉ ZDROJE

8 OBRÁZKY A TABULKY

Obrázek 1: cyklus hornin v zemské kůře	- 13 -
Obrázek 2: mezerovitost krychlí.....	- 17 -
Obrázek 3: mezerovitost zrn tvaru koule	- 17 -
Obrázek 4: uspořádání koulí různých velikostí	- 18 -
Obrázek 5: umístění velkých zrn písku v mezerách štěrku.....	- 19 -
Obrázek 6: rozmístění zrn písku mezi zrny hrubého kameniva	- 20 -
Obrázek 7: Čáry zrnitosti uvedené v příloze normy ČSN EN 206	- 24 -
Obrázek 8: Čáry zrnitosti uvedené v příloze normy ČSN EN 206	- 24 -
Obrázek 9: Tvary (podle BS 812: 1989) jsou ve směru hodinových ručiček zleva shora: Zaoblené, nepravidelné, úhlové, vločkané, protáhlé, vločkané + protáhlé.	- 28 -
Obrázek 10: Tvary a povrchy zrn.....	- 28 -
Obrázek 11 Dvoučelistové posuvné měřítko / obr. 1 normy 933-4/	- 29 -
Obrázek 12: Geologická mapa v okolí lokality Luleč.....	- 40 -
Obrázek 13: ilustrace zastoupení břidlic mezi lulečskými slepenci	- 40 -
Obrázek 14: lom Olbramovice, těžební stěna	- 41 -
Obrázek 15: mapa okolí lomu Olbramovice.....	- 42 -
Obrázek 16: Geologická mapa lokality Olbramovice.....	- 42 -
Obrázek 17: granodiorit Leskoun.....	- 43 -
Obrázek 18: žíla pegmatitu v granodioritu Olbramovice.....	- 44 -
19: Křivka 22 C – nevhodná 74 % Luleč.....	48
20: Křivka 22 A – nevhodná /65 % Bratčice	48
21: TEST 01 /58,5 % Bratčice/.....	48
22: R01-LUL	48
Obrázek 23: porovnání propadů za rok 2017	49

Obrázek 24: nesymetrické porušení krychle	- 63 -
Obrázek 25: graf čar zrnitostí	- 69 -
Obrázek 26: graf čar zrnitostí	- 69 -
Obrázek 27: graf všech objemových hmotností	- 71 -
Obrázek 28: graf pevností všech receptur dvou uložení –	- 72 -
Obrázek 29: graf dynamických modulů jednotlivých trámců	- 73 -
Obrázek 30: graf statických a dynamických modulů všech receptur	- 74 -
Tabulka 1: vznik a rozlišující vlastnosti hornin v betonech	15
Tabulka 2 Tabulka řad sít z normy 12 620.....	- 30 -
Tabulka 3: propady fileru z normy 12 620	- 31 -
Tabulka 4: kategorie tvarového indexu	- 31 -
Tabulka 5: Sypné, setřesené, měrné hmotnosti kameniv a jejich mezerovitosti	46
Tabulka 6: tabulka zkoušek objemů směsí	47
Tabulka 7: přesné rozměry zrn kameniva Olbramovice	50
Tabulka 8: přesné rozměry zrn kameniva Luleč	50
Tabulka 9: propady síty referenční receptury	- 53 -
Tabulka 10: z protokolu pevností 7d.....	- 55 -
Tabulka 11: z protokolu pevností 28d	- 55 -
Tabulka 12: z protokolu pevností 7d.....	- 56 -
Tabulka 13: z protokolu pevností 28d	- 56 -
Tabulka 14: receptura TST 01 a její propady	- 57 -
Tabulka 15: z protokolu pevností 7d.....	- 58 -
Tabulka 16: z protokolu pevností 28d	- 58 -
Tabulka 17: z protokolu pevností 7d.....	- 59 -
Tabulka 18: z protokolu pevností 28d	- 60 -
Tabulka 19: z protokolu pevností 7d.....	- 60 -
Tabulka 20: z protokolu pevností 28d	- 61 -

Tabulka 21: receptury s filerem.....	- 61 -
Tabulka 22: z protokolu pevností 7d.....	- 62 -
Tabulka 23: z protokolu pevností 28d	- 62 -
Tabulka 24: receptury Dmax 16 mm	- 64 -
Tabulka 25: propady síty receptur Dmax 16mm	- 64 -
Tabulka 26: z protokolu pevností 7d.....	- 64 -
Tabulka 27: z protokolu pevností 28d	- 65 -
Tabulka 28: z protokolu pevností 7d.....	- 65 -
Tabulka 29: z protokolu pevností 28d	- 66 -
Tabulka 30: výsledky všech receptur: objemové hmotnosti čerstvého a různě starého ztvrdlého betonu	- 70 -
Tabulka 31: pevnosti betonu v tlaku všech receptur.....	- 72 -

9 POUŽITÉ ZDROJE A LITERATURA

- [1] S. Bechyně, Technologie betonu sv. I., Praha II: Státní nakladatelství technické literatury, s.p., 1954.
- [2] p. neznámý, „rock-cycle-and-igneous-rock,“ 05 2018. [Online]. Available: <http://timclauss.wixsite.com/earthscience/33-rock-cycle-and-igneous-rock>.
- [3] M. A. a. S. Mindess, Aggregates in Concrete, New York: Taylor & Francis , 2005.
- [4] L. S. a. kolektiv, „Svoboda L. Stavební hmoty,“ 2013. [Online]. Available: <http://people.fsv.cvut.cz/~svobodal/sh/SH3v1.pdf>. [Přístup získán 01 2018].
- [5] W. Glanville, „Mortar tests as a guide to strenght of concrete,“ 1934, p. 242.
- [6] S. Bechyně, Technologie betonu sv. II., Praha: Státní nakladatelství technické literatury, s.p., 1957.
- [7] d. R. S. prof. Rudolf Hela, „Stavební zkušebnictví a technologie, učební opory, modul 01,“ [Online]. Available: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BI02-Zkusenictvi%20a%20technologie/Zkusebnictvi%20a%20technologie%20M01-Technologie%20betonu%20a%20stavebni%20keramika.pdf>. [Přístup získán 04 2018].
- [8] „ČSN EN 933-1 GEOMETRICKÉ VLASTNOSTI - SÍTOVÝ ROZBOR,“ 2012. [Online]. Available: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>.
- [9] Č. n. institut, „ČSN EN 12 620+A1, Z2,“ 2014. [Online]. Available: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>. [Přístup získán 02 2018].
- [10] H. group, „Příručka technologa BETON,“ 03 2015. [Online]. Available: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/search?keywords=p%C5%99%C3%ADru%C4%8Dka>. [Přístup získán 2014].

- [11] Č. n. institut, „ČSN EN 933-4 „Zkoušení geometrických vlastností kameniva – část 4 – Stanovení tvaru zrn, tvarový index,“ 2008. [Online]. Available: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>. [Přístup získán 01 2018].
- [12] Č. n. institut, „ČSN EN12 390-3 „Zkoušení ztvrdlého betonu – část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles,“ [Online]. Available: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>.
- [13] L. Opat, *Protokol Technologie stavebních dílců, vliv vibrace*, Brno, 2017.
- [14] K. ú. Č. Prof. Ing. Milan Holický a kol., „STATISTICKÉ HODNOCENÍ ZKOUŠEK MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ,“ [Online]. Available: http://www.konstrukce.cvut.cz/file_download/151. [Přístup získán 2018].
- [15] O. Bezděk, „BP - VLIV KAMENIVA NA VLASTNOSTI VYSOKOHODNOTNÝCH BETONŮ, VUT Brno,“ 2013. [Online]. Available: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/58636>.
- [16] P. Šafrata, „STUDIUM VLIVU SLOŽENÍ A VSTUPNÍCH SUROVIN, BP,“ 2015. [Online]. Available: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=108736.
- [17] Č. n. institut, „Modul pružnosti betonu,“ [Online]. Available: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>.
- [18] Č. G. SLUŽBA, „mapový podklad geovědní mapa,“ 2018. [Online]. Available: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>. [Přístup získán 04 2018].
- [19] „Kamenolom Luleč - informace,“ Českomoravský štěrk, 2018. [Online]. Available: <https://www.heidelbergcement.cz/cs/kontakty/cms/provozovny/lulec>. [Přístup získán 10 2017].
- [20] D. R. BP, „Analýza synkinematické mineralizace na Dražanské vrchovině,“ 06 2013. [Online]. Available: https://is.muni.cz/th/379708/prif_b/. [Přístup získán 04 2018].
- [21] R. H. Thonová, Skladatel, *Geologické podklady lomu Luleč*. [Zvukový záznam]. 2018.
- [22] S. b. správa, „dobývací prostory OBU Brno,“ 2018. [Online]. Available: <http://www.cbusbs.cz/index.php/obu-1.html>.

- [23] D. a. k. Maštera, 1973.
- [24] C. a. k. RNDr. Jindřich Štelcl, „geologie Olbramovice,“ [Online]. Available: <http://pruvodce.geol.morava.sci.muni.cz/Olbramovice/foto3.htm>. [Přístup získán 12 2017].
- [25] C. a. k. RNDr. Jindřich Štelcl, „Olbramovice mapa,“ [Online]. Available: <http://pruvodce.geol.morava.sci.muni.cz/Olbramovice/mapa1.htm>.
- [26] M. Dvořák, „geologická encyklopedie,“ [Online]. Available: <http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?n=2629>. [Přístup získán 02 2018].
- [27] P. Morava, „Ložisko - technologie,“ 2018. [Online]. Available: <http://www.piskovnymorava.cz/technologie/lozisko>. [Přístup získán 12 2017].
- [28] Č. N. INSTITUT, „norma ČSN EN 206:73 2403,“ 2008. [Online]. Available: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>.
- [29] M. Blažek, „ Vliv počátečních podmínek na modul pružnosti mostního betonu, BP,“ 2012. [Online]. Available: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/15269>. [Přístup získán 03 2018].