



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

PROBLEMATIKA OBSAHU VRATNÉHO PRACHU PŘI VÝROBĚ ASFALTOVÉ SMĚSI

THE ISSUE OF RETURNABLE DUST CONTENT IN THE PRODUCTION OF ASPHALT MIXTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Petr Spáčil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav pozemních komunikací
Student: **Bc. Petr Spáčil**
Vedoucí práce: **doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25
Studijní program: N0732A260026 Stavební inženýrství – konstrukce a dopravní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Problematika obsahu vratného prachu při výrobě asfaltové směsi

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využití odpadního vratného prachu vznikajícího při výrobě horké asfaltové směsi v obalovnách je dlouhodobě neřešený problém se skládkováním tohoto materiálu. Práce se zaměřuje na specifikaci množství vratného prachu v jednotlivých používaných úzkých frakcích kameniva do asfaltových směsí. Dalším cílem práce je zhodnotit možnost využití tohoto odpadu do maltové směsi používané do prolévané vrstvy částečně prolité cementovou maltou.

Cíle a výstupy diplomové práce:

Cílem práce je ověřit množství vratného prachu na produkovaných úzkých frakcích kameniva používaného pro výrobu asfaltových směsí a nestmelených směsí.

Ověření možnosti využití vratného prachu do cementové malty pro prolité vrstvy částečně zpevněné cementovou maltou (ŠCM).

Seznam doporučené literatury a podklady:

ČSN EN 933-1 až 8 Zkoušení geometrických vlastností kameniva

ČSN 73 6127-1 Stavba vozovek - Prolévané vrstvy - Část 1: Vrstva ze štěrku částečně vyplněného cementovou maltou

odkazy na veřejných internetových stránkách

výzkumné zprávy z oblasti řešení využití vratného prachu do stavebních směsí

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 15. 10. 2024

L. S.

doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
vedoucí ústavu

doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zaměřuje na problematiku obsahu vratného prachu vznikajícího při výrobě horkých asfaltových směsí v obalovnách, který představuje dlouhodobě neřešený problém v oblasti nakládání s odpadními materiály. Teoretická část práce se věnuje popisu současného stavu řešení této problematiky, včetně přehledu legislativních a technických požadavků týkajících se využití vratného prachu. Praktická část se zabývá specifikací množství vratného prachu v jednotlivých úzkých frakcích kameniva a jeho využitelností.

Součástí experimentální části je ověření možnosti aplikace vratného prachu do cementové malty, která se používá pro prolití vrstev částečně zpevněných cementovou maltou (ŠCM). Byly provedeny laboratorní zkoušky zaměřené na mechanické vlastnosti těchto maltových směsí a jejich vhodnost pro stavební aplikace. Výsledky práce přispívají k nalezení efektivního využití vratného prachu, čímž mohou snížit množství odpadu ukládaného na skládky a podpořit udržitelnost ve stavebnictví.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vratný prach, síťový rozbor, prolévané vrstvy, cementová malta, pevnost v prostém tlaku

ABSTRACT

The diploma thesis focuses on the issue of returnable dust content generated during the production of hot asphalt mixtures in asphalt plants, which represents a long-standing unresolved problem in waste material management. The theoretical part of the thesis describes the current state of solutions to this issue, including an overview of legislative and technical requirements related to the utilization of returnable dust. The practical part deals with the specification of returnable dust quantities in individual narrow aggregate fractions and their potential usability.

The experimental part includes verification of the applicability of returnable dust in cement mortar used for grouting layers partially stabilized with cement mortar. Laboratory tests were conducted to examine the mechanical properties of these mortar mixtures and their suitability for construction applications. The results of the thesis contribute to identifying an effective use for returnable dust, thereby reducing the amount of waste sent to landfills and promoting sustainability in construction.

KEYWORDS

Returnable dust, sieve analysis, grouted base layers of pavement, cement mortar, Compressive strength in uniaxial loading

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SPÁČIL, Petr. *Problematika obsahu vratného prachu při výrobě asfaltové směsi*. Brno, 2025. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí doc. Ing. Dušan Stehlík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Problematika obsahu vratného prachu při výrobě asfaltové směsi* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 17. 1. 2025

Bc. Petr Spáčil

autor

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří mi během zpracování diplomové práce poskytli cenné rady, podporu a trpělivost. Děkuji zejména svému vedoucímu, doc. Ing. Dušanu Stehlíkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné připomínky a pomoc při řešení problémů. Poděkování patří také pracovníkům laboratoře Ústavu pozemních komunikací za pomoc s experimentální částí práce a kamenolomům za poskytnutí potřebných materiálů. A v neposlední řadě bych rád poděkoval rodině, přátelům a zejména partnerce, za podporu, kterou se mi, nejen při psaní této práce, dostávalo.

Obsah

Úvod.....	11
Cíle práce	12
TEORETICKÁ ČÁST	13
1 Rešerše literatury.....	13
1.1 Šaržová obalovna.....	13
1.2 Kamenivo	14
1.3 Praní kameniva	16
1.4 Cement.....	18
1.5 Vodní součinitel.....	18
1.6 Konzistence	19
1.7 Malta.....	20
1.8 Vratný prach	21
1.9 Štěrka částečně vyplněná cementovou maltou.....	23
2 Použité zkušební metody	26
2.1 Síťový rozbor	26
2.2 Pevnost v prostém tlaku.....	30
2.3 Stanovení konzistence	37
3 Použité materiály.....	47
3.1 Kamenivo	47
3.2 Vratný prach	53
3.3 Cement.....	54
PRAKTICKÁ ČÁST.....	55
4 Cementová malta pro ŠCM.....	55
4.1 Návrh cementových malt.....	55
4.2 Příprava cementových malt	57
4.3 Stanovení konzistence	62

4.4	Shrnutí výsledků přípravy cementové malty	68
5	Zkouška pevnosti v prostém tlaku	69
5.1	Analýza výsledků	71
5.2	Shrnutí	73
6	Množství vratného prachu	74
6.1	Interpretace výsledků množství vratného prachu	76
6.2	Srovnání s praným kamenivem	77
	Závěr	80
7	Seznam použitých zdrojů	81
8	Seznam obrázků	85
9	Seznam tabulek	87
10	Seznam grafů	88
11	Seznam zkratk	89
12	Přílohy	90
	Příloha č. 1: Množství odplavených částic	90
	Příloha č. 2: výpočet receptury cementové malty	92
	Příloha č. 3: Stanovení vodního součinitele	95
	Příloha č. 4: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor	101

ÚVOD

Při výrobě horkých asfaltových směsí v obalovnách, během procesu separace částic v sušicích bubnech a elektrostatických filtrech obaloven, vzniká jemný prach. Tento jemný prach, který je v rámci ochrany životního prostředí zachytáván za účelem snížení emisí do ovzduší, se nazývá vratný prach. Jeho zachycení, ačkoliv je environmentálně nezbytné, vede k hromadění vratného prachu, který je následně ukládán na skládkách jako odpad. Skládkování však představuje nejen finanční zátěž, ale i problém udržitelnosti ve stavebnictví.

V současnosti se vratný prach částečně využívá při výrobě asfaltových směsí, nicméně toto řešení nepokrývá veškeré objemy produkovaného materiálu. Vzhledem k jeho složení, které zahrnuje jemné frakce kameniva, zbytky pojiva a další složky, je klíčové hledat alternativní způsoby jeho využití. Cílem je nejen snížit množství odpadu ukládaného na skládky, ale také přispět k efektivnějšímu využívání zdrojů v souladu s principy cirkulární ekonomiky [2].

Téma vratného prachu má zásadní význam nejen pro technologii výroby asfaltových směsí, ale také pro širší oblast stavebních materiálů. Výsledky této práce mohou přinést nové možnosti pro efektivní využití tohoto materiálu, přičemž přispějí ke snížení environmentální zátěže a podpoří udržitelný rozvoj stavebního sektoru [4].

CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je zjistit množství vratného prachu přirozeně se vyskytujícího v jednotlivých úzkých frakcích kameniva používaných při výrobě asfaltových a nestmelených směsí. To umožní lépe porozumět rozsahu problému spojeného s jeho akumulací.

Dále se práce zaměřuje na možnosti využití vratného prachu jako přísady do cementové malty používané ve vrstvách částečně zpevněných cementovou maltou (ŠCM). Tento přístup by mohl přispět k ekologicky a ekonomicky výhodnému řešení, které by podpořilo udržitelný rozvoj ve stavebnictví.

Pro splnění těchto cílů bude práce rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretická část poskytne rešerši odborné literatury, technických norem a legislativních požadavků, které se vztahují k problematice vratného prachu a jeho možnému využití ve stavebnictví. Pro lepší pochopení cíle zjištění množství vratného prachu v jednotlivých frakcích kameniva bude uveden návrh metody jeho analýzy. Tento návrh zahrnuje sběr vzorků z úzkých frakcí kameniva, jejich přípravu pro následné posouzení vlastností. Dále bude navržen postup laboratorního měření, včetně testování pevnosti v tlaku po 28 dnech.

Pro vyhodnocení možností využití vratného prachu v cementové maltě se úvod praktické části zaměří na postup přípravy cementových malt s jeho přídavkem vratného prachu. Dále se praktická část se soustředí na experimentální analýzu.

Prvním krokem bude laboratorní testování cementových malt, přičemž výsledky budou porovnány s běžně používanými směsmi. Následovat bude stanovení množství vratného prachu v jednotlivých úzkých frakcích kameniva. Jednotlivé výsledky budou analyzovány v závislosti na chemické a fyzikální vlastnosti vratného prachu.

Závěr práce přinese dvě doporučení. Na základě analýzy množství vratného prachu v jednotlivých frakcích kameniva bude popsána jeho přirozená distribuce v současné praxi a navržena opatření pro jeho další efektivní sběr a využití. V kontextu využití vratného prachu v cementové maltě budou navrženy postupy pro snížení množství odpadu prostřednictvím jeho integrace do stavebních směsí, což podpoří udržitelnost ve stavebním sektoru.

TEORETICKÁ ČÁST

1 REŠERŠE LITERATURY

Rešerše literatury je rozdělena do tematických celků, které postupně zpracovávají problematiku využití vratného prachu a jeho vlivu na stavební směsi. Kapitola popisuje šaržové obalovny, vlastnosti kameniva, cementu a vratného prachu, včetně jejich technických a legislativních aspektů. Cílem rešerše je poskytnout ucelený přehled o materiálech a technologiích, zdůraznit význam vratného prachu, definovat požadavky na jeho využití a vytvořit pevný teoretický základ pro další části práce.

1.1 Šaržová obalovna

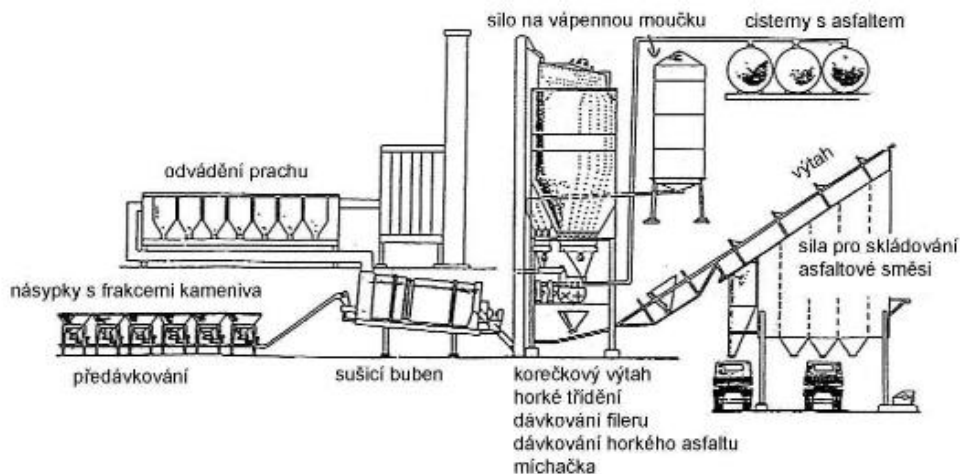
Šaržová obalovna, známá také jako dávková obalovna, je typ zařízení používaného k výrobě asfaltových směsí, kde se celý výrobní proces realizuje v jednotlivých dávkách (šaržích). Tento způsob výroby umožňuje vysokou míru kontroly nad kvalitou a složením výsledné směsi, což je klíčové zejména při produkci specifických druhů asfaltových směsí.

Proces začíná zahřátím kameniva v sušicím bubnu, kde se materiál zbaví vlhkosti. Následně je kamenivo dopraveno na vibrační síta, kde se třídí podle velikosti do jednotlivých zásobníků. Každá šarže je poté namíchána v míchačce, kde se ke kamenivu přidává asfaltové pojivo a případné přísady, jako jsou stabilizátory nebo modifikátory. Po dokončení míchání je hotová směs dopravena do zásobníků pro přepravu nebo přímo na místo aplikace.

Hlavní výhodou šaržových obaloven je jejich flexibilita. Díky šaržovému procesu lze snadno měnit složení směsí během provozu, což je užitečné při výrobě směsí s různými technickými parametry. Šaržové obalovny jsou proto často využívány v situacích, kdy je kladen důraz na kvalitu a variabilitu, například při výstavbě dálnic, mostů nebo letištních ploch.

Tento typ obaloven je vybaven moderními technologiemi pro automatizaci procesu a minimalizaci emisí. Například filtrační systémy zachytávají jemné prachové částice, čímž se snižuje znečištění ovzduší. Součástí obaloven bývají také recyklační jednotky,

které umožňují vrátit materiály, jako je vratný prach nebo recyklovaný asfalt, zpět do výrobního procesu [5], [6].



Obrázek 1: Schéma šaržové obalovny [36]

1.2 Kamenivo

Kamenivo je základní stavební materiál tvořený zrný přírodních nebo umělých hornin, které se využívají zejména jako plnivo do betonových směsí, asfaltových směsí, při výstavbě komunikací a dalších stavebních konstrukcí. Podle původu se kamenivo dělí na přírodní, získávané těžbou a úpravou hornin, a umělé, vyráběné z průmyslových odpadů nebo vedlejších produktů, jako jsou strusky nebo expandované jíly. Dále se rozlišuje kamenivo podle způsobu těžby a zpracování na těžené, drcené a upravené [7], [8].

1.2.1 Frakce kameniva

Frakce kameniva představuje rozdělení kameniva podle velikosti jeho zrn. Toto třídění se provádí pomocí síťového rozboru, při kterém je kamenivo prosíváno přes síta s definovanými velikostmi ok. Výsledkem je klasifikace na jednotlivé frakce, které odpovídají určitému rozpětí velikostí zrn. Základní frakce jsou zpravidla označovány podle nejmenšího a největšího průměru zrn, například frakce 0/4 znamená kamenivo s velikostí zrn od 0 mm do 4 mm [7].

Frakce kameniva se dále dělí na úzké a široké frakce. Úzká frakce je vymezena sítí, kde poměr velikosti otvorů (D/d) je menší nebo roven 2, například 0/2, 2/4, 4/8, 8/11 nebo 8/16. Naopak široká frakce je definována sítí s poměrem velikosti otvorů větším než 2, jako například 4/16, 8/22, 0/32 nebo 0/63 [7].

Filer, označovaný také jako kamenná moučka, je nejjemnější frakcí kameniva, obvykle s velikostí zrn menší než 0,063 mm [7], [8].



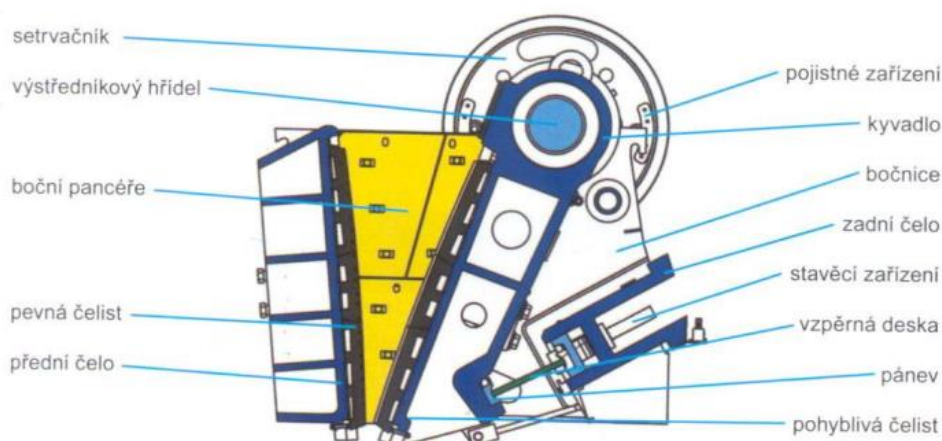
Obrázek 2: Frakce drceného kameniva [4]

1.2.2 Výroba kameniva

Výroba kameniva zahrnuje procesy od těžby surovin po jejich úpravu na požadovanou kvalitu a zrnitost. Těžba může probíhat buď suchou cestou, nebo těžbou z vody. Suchá těžba je typická pro kamenolomy, kde se hornina získává mechanickým rozpojováním, například pomocí bagrů, rypadel nebo vrtací techniky. Při těžbě tvrdých hornin se často využívají trhací práce, které usnadňují rozpojování masivních bloků. Těžba z vody se provádí v oblastech, kde jsou ložiska říčních nebo jezerních sedimentů. Tato metoda zahrnuje použití sacích bagrů nebo plovoucích rypadel, která získávají materiál ze dna vodních toků nebo nádrží. Po vytěžení je surovina přepravována na místo dalšího zpracování, kde se podrobuje úpravám, jako je drcení, třídění a praní, aby splňovala požadované technické parametry [7], [8].

Po vytěžení je surovina přepravována k dalším úpravám zahrnujícím drcení, třídění a praní. Tyto operace zajišťují, že kamenivo splňuje požadované technické normy a je vhodné pro specifické aplikace.

Proces drcení využívá různé typy drtičů v závislosti na vlastnostech materiálu a požadavcích na výslednou frakci. Čelistové drtiče se používají pro hrubé a střední drcení, kdy materiál je drcen tlakem mezi pevnou a pohyblivou čelistí. Tento proces umožňuje získat materiál o požadované zrnitosti a často je doplněn odhliňovacími třídiči, které odstraňují jemné částice, aby se zvýšila účinnost drtiče. Kuželové drtiče nacházejí uplatnění při hrubém, středním i jemném drcení tvrdých hornin. Materiál je zde zmenšován tlakem mezi rotujícím kuželem a pevným pláštěm. Kladivové a odrazové drtiče pracují na principu prudkých úderů kladiv nebo drtících lišt, přičemž materiál je dále zdobňován nárazy částic na pancéřové desky [7], [8].



Obrázek 3: Čelistový drtič [7]

Třídění kameniva probíhá na vibračních sítích, kde je materiál rozdělován do jednotlivých frakcí dle zrnitosti. Jak bylo uvedeno v kapitole 1.2.1. *Frakce kameniva*, frakce mohou být široké nebo úzké, což umožňuje cílené využití kameniva v různých aplikacích [7], [8].

1.3 Praní kameniva

Praní kameniva je technologický proces, který odstraňuje nežádoucí příměsi, jako jsou jíly, hlína, prachové částice a organické materiály. Tyto nečistoty mohou negativně ovlivnit vlastnosti asfaltových a betonových směsí, zejména přilnavost asfaltového pojiva

ke kamenivu. Praní také zlepšuje uniformitu a kvalitu jemných frakcí, což je důležité pro dosažení požadovaných mechanických vlastností směsí.

Proces praní probíhá po drcení kameniva a jeho primárním třídění. Zařízení používaná k praní kameniva zahrnují různé typy praček. V české republice se nejčastěji používají nožové pračky, ale můžeme se setkat i s bubnovými pračkami, které se dělí na vibrační a rotační. Nožová pračka je navržena pro intenzivní praní ve vodě, kde rotující lopatky pohánějí materiál v nakloněné vaně směrem ven, zatímco nečistoty se odplavují vodou. Dalším typem praní kameniva je mokré třídění, při kterém jsou vibrační síta vybavená systémy na rozprašování vody.

Přestože praní kameniva zlepšuje kvalitu výsledného produktu, je proces finančně i časově náročný. Největší část nákladů tvoří spotřeba vody, což vede k implementaci recyklačních systémů, které umožňují opětovné využití vody a snižují ekologický dopad. Moderní pračky jsou navíc navrženy s ohledem na energetickou úspornost, což přispívá ke snížení provozních nákladů.

Praní je zásadní zejména u jemných frakcí kameniva, kde stabilní množství jemných částic může významně ovlivnit soudržnost a vlastnosti směsí. Například v betonových směsích zajišťuje čistota kameniva lepší vazbu cementové matrice k částicím, zatímco v asfaltových směsích zlepšuje adhezi pojiva k povrchu kameniva, což vede k vyšší odolnosti vůči vodě a delší životnosti konstrukce [9], [10], [11], [12].



Obrázek 4: Nožová pračka [11]

1.4 Cement

Cement je hydraulické pojivo, což je jemně mletá anorganická látka, která po smíchání s vodou vytváří kaši, která tuhne a tvrdne v důsledku hydratačních reakcí a procesů. Po zatvrdnutí zachovává svoji pevnost a stálost také ve vodě.

Cement podle EN 197-1 označovaný jako CEM, musí při odpovídajícím dávkování a smíchání s kamenivem a vodou umožnit výrobu betonu a malty zachovávající po dostatečnou dobu vhodnou zpracovatelnost. Po předepsané době musí mít předepsanou pevnost a dlouhodobou objemovou stálost [31].

1.4.1 Rozdělení cementů

Cementy se podle EN 197-1 rozdělují do pěti hlavních druhů cementů:

- CEM I Portlandský cement.
- CEM II Portlandský cement směsný.
- CEM III Vysokopecní cement.
- CEM IV Pucolánový cement.
- CEM V Směsný cement.

Cementy se dále dělí na tři třídy normalizované pevnosti tlaku, a to na 32,5, 42,5 a 52,5 (MPa). Cementy s vysokými počátečními pevnostmi se označují písmenem R (rapid) [31].

1.5 Vodní součinitel

Vodní součinitel v betonu představuje poměr hmotnosti účinného obsahu vody k hmotnosti cementu v čerstvé směsi, vyjádřený jako poměr $[\text{kg}/\text{m}^3 \text{ vody}] / [\text{kg}/\text{m}^3 \text{ cementu}]$. Obvykle se pohybuje v rozmezí 0,3 až 0,6. Směsi s nižším vodním součinitelem dosahují lepších mechanických vlastností, jako jsou vyšší pevnost, modul pružnosti a odolnost vůči průsaku tlakové vody, a vykazují také vyšší trvanlivost ve srovnání se směsmi s vyšším vodním součinitelem [32].

1.6 Konzistence

Konzistence čerstvého betonu a malty představuje vlastnost směsi, která ovlivňuje její zpracovatelnost, tvarovatelnost a konečnou kvalitu stavebních konstrukcí. Konzistence vyjadřuje schopnost přizpůsobit se tvaru formy a zachovat soudržnost bez segregace. Jinými slovy, konzistence určuje, jak tekutý, tuhý nebo sypký je čerstvý beton či malta.

Správná konzistence hraje důležitou roli při technologických procesech, jako je pokládka, hutnění a zajištění homogenity materiálu. Příliš tuhá směs může způsobit nedostatečné vyplnění formy nebo zvýšené tření během čerpání, zatímco příliš tekutá směs může vést k segregaci kameniva, snížení pevnosti a nehomogenitě. Volba vhodné konzistence proto musí odpovídat specifickým požadavkům aplikace, technologii zpracování a vlastnostem finálního produktu.

1.6.1 Klasifikace konzistence

Konzistence čerstvého betonu se stanovuje pomocí různých zkušebních metod, které umožňují zařazení směsi do jednotlivých tříd. Tyto třídy konzistence se však liší podle použité metody měření, a proto nejsou mezi sebou přímo srovnatelné [34], [36].

Přehled klasifikace konzistence podle různých norem uvádí tabulka 1.

Tabulka 1: Klasifikace konzistence [34]

Klasifikace konzistence							
Podle rozlití EN 12350-5 [mm]		Podle stupně zhutnitelnosti EN 12350-4 [-]		Podle sednutí kužele EN 12350-2 [mm]		Podle sednutí rozlitím EN 12350-8 [mm]	
F1	≤ 340	C0	≥ 1,46	S1	10 až 40	SF1	550 až 650
F2	350 až 410	C1	1,45 až 1,26	S2	50 až 90	SF2	660 až 750
F3	420 až 480	C2	1,25 až 1,11	S3	100 až 150	SF3	760 až 850
F4	490 až 550	C3	1,10 až 1,04	S4	160 až 210		-
F5	560 až 620	C4	<1,04	S5	≥ 220		-
F6	≥ 630		-		-		-

1.7 Malta

Malta je směs připravovaná smícháním jemnozrného kameniva, anorganického pojiva a vody, často doplněná přísadami nebo příměsemi pro dosažení specifických vlastností. Výsledná směs se rozmíchává na požadovanou konzistenci a používá se pro spojování stavebních prvků, povrchové úpravy a další stavební aplikace.

Malty se podle způsobu dodání dělí na tři základní typy. Prvním jsou staveništní malty, které se připravují přímo na staveništi smícháním jednotlivých složek. Druhým typem jsou suché maltové směsi, které jsou průmyslově připravené a na staveništi se rozmíchávají pouze s vodou. Třetím jsou mokré maltové směsi, dodávané již zamíchané, připravené k okamžitému použití.

Podle svého použití se malty rozdělují na tři hlavní kategorie:

- Malty pro zdění jsou navrženy pro spojování stavebních prvků, přičemž mohou být izolační, vylehčené nebo žáruvzdorné.
- Malty pro omítání se zaměřují na přilnavost k podkladu a estetický vzhled, přičemž lze použít téměř všechny druhy malt s odpovídajícími vlastnostmi.
- Speciální malty jsou určeny pro specifické stavební účely, jako je kladení dlažeb a obkladů, spárování nebo potěry [20].

Další klasifikace malt vychází z druhu pojiva. Vzdušná pojiva, jako je vápno a sádra, tuhnou na vzduchu, zatímco hydraulická pojiva, například cement nebo tras, tuhnou i pod vodou. Polymerní pojiva umožňují zvýšení pružnosti a zlepšení přilnavosti směsi.

Hlavními složkami malt jsou pojivo, plnivo, přísady a voda. Plnivo, často ve formě písku, zajišťuje objem a stabilitu směsi. Písady a příměsi upravují vlastnosti čerstvé i zatvrdlé malty, například pevnost, trvanlivost nebo zpracovatelnost. Voda musí být chemicky nezávadná, aby nezpůsobila snížení kvality směsi. Dalšími složkami mohou být barviva, která slouží k probarvení celé hmoty nebo k povrchovým úpravám [37].

1.8 Vratný prach

Vratný prach je jemný materiál zachycený ve filtračních systémech asfaltových obaloven během výroby asfaltových směsí. Tento materiál se skládá převážně z jemných částic minerálního původu, které mají významné využití v různých oblastech stavebního průmyslu, zejména jako plnivo v asfaltových směsích [13].

1.8.1 Původ a vznik vratného prachu

Vratný prach vzniká jako vedlejší produkt během sušení a míchání kameniva v asfaltových obalovnách. Proces zahrnuje zachytávání jemných částic pomocí filtračních systémů, jako jsou cyklóny a látkové filtry (textilní odlučovače), které zabraňují jejich úniku do ovzduší. Tyto částice jsou následně recyklovány nebo využívány jako plnivo v asfaltových směsích. Přibližně 80 až 90 % prachu je recyklováno, ale zbylých 10 % je obvykle likvidováno.

Další možností odstranění prachu při výrobě asfaltových směsí je implementování procesu praní kameniva, který je detailně popsán v kapitole 2.1.4 *Praní*. Při implementaci tohoto procesu je možné likvidovat vrátý prach usazením v usazovacích nádržích [13].

1.8.2 Složení a vlastnosti vratného prachu

Vratný prach obsahuje částice o velikosti menší než 0,063 mm a jeho chemické složení a fyzikální vlastnosti závisí na typu kameniva používaného v obalovně a na technologii výroby. Studie ukázaly, že vratný prach vykazuje vysokou alkalitu (pH mezi 7,2 a 12,4) a nízký obsah jílovitých částic, což z něj činí vhodný materiál pro použití jako plnivo. Specifický povrch prachu se pohybuje v rozmezí 0,06 až 2,18 m²/g, což přispívá k jeho schopnosti vázat asfaltové pojivo. Další vlastností vratného prachu je jeho nasákavost, která souvisí s jemnou zrnitostí a vysokým specifickým povrchem. Tato schopnost umožňuje vratnému prachu vázat vlhkost. Tato charakteristika je zásadní při aplikaci vratného prachu v cementových maltách, kde může významně ovlivnit vlastnosti směsi, jako je soudržnost a zpracovatelnost [15], [16].

1.8.3 Použití vratného prachu

Ve většině obaloven je vratný prach recyklován a přidáván zpět do asfaltových směsí, kde slouží jako plnivo. Tento proces nejen snižuje náklady na výrobu, ale také minimalizuje environmentální dopady. Experimenty ukázaly, že přidání 2 % vratného prachu zlepšuje kohezi směsi, zatímco vyšší koncentrace mohou způsobit zvýšenou tuhost a sníženou zpracovatelnost [14], [15], [17].

1.8.4 Environmentální a ekonomické aspekty

Recyklace vratného prachu přispívá k udržitelnosti tím, že snižuje potřebu těžby nových surovin a minimalizuje množství odpadu. Použití vratného prachu snižuje produkci emisí CO₂ tím, že nahrazuje potřebu výroby nového plniva, což je energeticky náročný proces. Recyklací vratného prachu se snižuje množství kameniva, které musí být těženo a zpracováno, což přímo přispívá k omezení emisí vznikajících při těchto aktivitách [15].

1.8.5 Legislativní požadavky na prach v obalovnách

V České republice je problematika emisí tuhých znečišťujících látek (dále jen TZL) a jejich zachytávání legislativně upravena těmito právními předpisy:

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší

Tento zákon stanovuje povinnosti provozovatelů stacionárních zdrojů, včetně obaloven, k minimalizaci emisí TZL. Dle tohoto zákona je vyžadována rozptylová studie a provozní řád jako součást povolení provozu [18].

Vyhláška č. 452/2017 Sb., o přípustné úrovni znečišťování

Specifikuje maximální limity emisí TZL, které nesmí překročit 20 mg/m³ [19].

Tabulka 2: Emisní limity pro obalovny živičných směsí [19]

Emisní limity [mg/m ³]			O _{2R} [%]	Vztažné podmínky
TZL	NO _x	CO		
20	500	800	17	A

Legenda tabulky:

- **TZL (Tuhé znečišťující látky):** Jedná se o pevné částice, které jsou emitovány během provozu obaloven, například prach nebo saze.
- **NO_x (Oxidy dusíku):** Skupina plynů obsahujících oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂), které přispívají k tvorbě smogu a kyselých dešťů.
- **CO (Oxid uhelnatý):** Plyn vznikající nedokonalým spalováním, jehož vysoké koncentrace mohou být toxické.
- **O_{2R} [%] (Referenční obsah kyslíku):** Hodnota obsahu kyslíku, na který jsou emisní limity vztaženy.
- **Vztažné podmínky (A):** Pro emisní limit znamenají koncentraci příslušné látky v suchém plynu za normálních podmínek (101,325 kPa, 293,15 K), někdy s udáním referenčního obsahu některé látky v odpadním plynu (obvykle kyslíku) [27].

1.9 Štěrk částečně vyplněný cementovou maltou

Štěrk částečně vyplněný cementovou maltou (dále jen ŠCM) je vrstva, vzniklá z kamenné kostry 32/63 po částečném zaplnění cementovou maltou, která uzavírá povrch a s hloubkou vrstvy její množství postupně klesá až do jedné třetiny celkové tloušťky kamenné kostry.

ŠCM se používá v oblasti dopravní infrastruktury jako podkladní vrstva vozovek a řadí se mezi prolévané vrstvy. Uplatnění nachází zejména v intravilánových konstrukcích, a to díky své vysoké pevnosti, trvanlivosti a schopnosti odolávat dynamickému zatížení. Tyto vlastnosti jsou klíčové zejména v místech s vysokým dopravním zatížením, jako jsou autobusové zastávky, křižovatky a další oblasti vystavené působení těžké nákladní dopravy [26].

Technické požadavky na vrstvy ŠCM jsou specifikovány normou ČSN 73 6127-1: *Stavba vozovek – Prolévané vrstvy – Část 1: Vrstva ze štěrku částečně vyplněného cementovou maltou.* [2].

1.9.1 Užití ve vozovce

Vrstva ze šterku částečně vyplněná cementovou maltou nachází využití jako podkladní vrstva pro místní a účelové komunikace, parkovací stání a odstavné plochy. U komunikací třídy dopravního zatížení VI, což zahrnuje místní komunikace s minimálním dopravním zatížením, jako jsou pěší zóny, parkoviště nebo účelové cesty s občasným provozem vozidel, lze ŠCM použít také jako kryt vozovky, avšak v tomto případě je nutné povrch opatřit nátěrem nebo emulzní kalovou vrstvou [35].

Tloušťka vrstvy je normativně stanovena návrhem vozovky v rozmezí od 150 mm do 200 mm [2].

1.9.2 Požadavky na vrstvu ŠCM

Vrstva ze ŠCM se smí pokládat pouze na podloží splňující požadavky normy ČSN 73 6133. V případě nutnosti lze ŠCM položit na ochrannou vrstvu, která zabraňuje vzájemné infiltraci mezi ŠCM a podložím. Požadavky na ochrannou vrstvu jsou specifikovány v kapitole 5.2 normy ČSN 73 6127-1 [2].

Kamenivo používané pro ŠCM musí splňovat mechanické a fyzikální požadavky normy ČSN EN 13242, včetně zrnitosti, pevnosti a odolnosti proti zmrazování a rozmrazování.

Hlavním zájmem předložené práce je složení výplňové malty ve vrstvě ŠCM. Nejčastěji navrhovaná cementová malta je tvořena cementem třídy 32,5 N podle ČSN EN 197-1, vodou splňující ČSN EN 1008 a kamenivem frakce 0/4 dle ČSN EN 13242. V případě, že je vrstva ŠCM použita jako kryt vozovky, musí se použít provzdušená cementová malta.

Dalšími požadavky na cementovou maltu je stupeň konzistence cementové malty, který činí $130 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ a minimální pevnost v prostém tlaku 7 MPa [2].

1.9.3 Cementová malta

Podle ČSN 73 6127-1 je nutné dodržet následující hmotnostní poměry:

- cement: kamenivo = 1 : 5 až 1 : 8.
- voda : cement = 1 : 2 (přibližně).

Klíčovou vlastností cementové malty je správná konzistence, která umožňuje při rozprostření a zavibrování vytvořit zpevňující výplň v horní části kamenné kostry. Použití plastifikačních přísad není povoleno, protože zvyšují tekutost malty, což může negativně ovlivnit kvalitu (nehomogenitu) vrstvy.

Další důležitou vlastností cementové malty je její objemová hmotnost, která činí 2100 kg/m³ [14], [2].

1.9.4 Stavební práce

Provádění vrstvy ze ŠCM zahrnuje několik zásadních kroků, které musí být v souladu s požadavky normy ČSN 73 6127-1. Nejprve je nutné připravit podloží, které splňuje požadavky modulu deformace. Kamenivo je rozprostřeno do vrstvy a částečně zhutněno. Následně je cementová malta aplikována rovnoměrně na povrch vrstvy tak, aby vyplnila mezery mezi zrny kameniva. Po zpracování je nutné vrstvu chránit před vysycháním a zajistit její správné zrání podle podmínek uvedených v kapitole 7 normy ČSN 73 6127-1 [2].



Obrázek 5: Hotová vrstva z ŠCM [1]

2 POUŽITÉ ZKUŠEBNÍ METODY

2.1 Síťový rozbor

Síťový rozbor je laboratorní metodou pro stanovení granulometrické vlastnosti kameniva. Tato zkouška se provádí v souladu s normou ČSN EN 933-1: *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor*. Norma stanovuje postup pro analýzu velikostní distribuce zrn kameniva pomocí sady kalibrovaných sít.

Tato metoda byla primárně použita v diplomové práci pro ověření množství vratného prachu v úzkých frakcích kameniva používaného pro výrobu asfaltových směsí. Proces praní vzorku kameniva umožňuje účinně oddělit jemné částice ulpívající na povrchu zrn. Porovnáním hmotnosti vzorku před a po praní lze následně s dostatečnou přesností stanovit množství vratného prachu v jednotlivých frakcích [21].

2.1.1 Princip zkoušky

Zkouška spočívá v oddělení zrnitostních frakcí kameniva proséváním skrze síťový sloupec. Každé síto v soustavě má přesně definované otvory, které určují velikost zrn, jež jím mohou propadnout. Použitá síta a jejich rozmístění jsou volena s ohledem na charakter zkoušeného materiálu a požadované přesnosti [21].

2.1.2 Použité zařízení a pomůcky

Pro provedení síťového rozboru jsou požadovány následující pomůcky a přístroje:

- Zkušební síta.
- Pevně líčující víko a dno sít.
- Sušárna s ventilací.
- Prací zařízení.
- Váhy.
- Nádoby, štětce [21].

2.1.3 Příprava vzorku

Před zahájením zkoušky se vzorek kameniva zmenší na požadované množství dle ČSN EN 932-2, aby byl reprezentativní. Poté se vysuší na konstantní hmotnost a stanoví se jeho hmotnost M_1 [21].

2.1.4 Praní

Praní je proces, během kterého se odstraňují jemné částice ulpívající na povrchu zrn. Síto 0,063 mm, vyhrazené výhradně pro tuto zkoušku, se před použitím navlhčí z obou stran a nad něj se umístí ochranné síto (například síto 1 mm nebo 2 mm). Síta se sestaví tak, aby promývací suspenze protékající sítím mohla odtékat do odpadu. Obsah nádoby se zkušební navázkou rozmíchanou ve vodě se vylévá na horní síto. Proces praní pokračuje, dokud voda protékající sítím 0,063 mm nezůstane čistá [21], [22].

Zbytek zachycený na síti 0,063 mm se vysuší do ustálené hmotnosti při teplotě $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Ponechá se vychladnout, zváží se a zaznamená jako M_2 .

Rozdíl mezi hmotnostmi vysušeného vzorku před praním (M_1) a po praní (M_2) určuje množství vyplaveného materiálu. Tento parametr je klíčový pro analýzu vratného prachu, protože právě vyplavený materiál odpovídá vratnému prachu [21], [22].



Obrázek 7: Praní kameniva



Obrázek 6: Sušení kameniva

2.1.5 Prosévání

Vypraný a vysušený materiál (nebo suchý vzorek) se nasype do sloupce sít, který je sestaven z víka, dna a několika sít uspořádaných od největších otvorů nahoře k nejmenším dole. Sloupec se mechanicky nebo ručně třese, aby došlo k oddělení částic podle velikosti. Po ukončení třesení se síta postupně odebírají, počínaje sítkem s největšími otvory, a každé síto se ručně protřeše, aby nedošlo ke ztrátě materiálu. Proces prosévání pokračuje, dokud není všechen materiál, který může propadnout konkrétním sítem, přesunut na síto pod ním. Je nutné zajistit, aby síta nebyla přetížena, což je stanoveno normou ČSN EN 933-1 [21], [22].



Obrázek 8: Sloupec sít

2.1.6 Stanovení hmotnosti zkušební vzorku

Hmotnost zůstatku na síti s největšími otvory se zváží a zaznamená pod označením R1. Stejný postup se opakuje pro zůstatky na dalších sítích, přičemž jejich hmotnosti se zapisují postupně jako R2, R3, R4 až Rn. Pokud jemné částice propadnou sítí a skončí na dně sloupce, jejich hmotnost se označí jako P [21], [22].



Obrázek 9: Zachycené množství

2.1.7 Výpočet

Všechny naměřené hmotnosti se zaznamenají do zkušební protokolu. Hmotnosti zůstatků na jednotlivých sítích se vyjádří jako procento původní vysušené navážky označené jako M1. Poté se vypočítají kumulativní procenta hmotnosti původní navážky, která propadla jednotlivými sítí, s výjimkou síta 0,063 mm.

Celkové procento propadu materiálu se určí podle vztahu:

$$100 - \sum \left(100 \cdot \frac{R_i}{M_1} \right) \quad [\%]$$

Procento jemných částic (f), které propadly sítím 0,063 mm, se stanoví podle vztahu:

$$f = \frac{(M_1 - M_2) + P}{M_1} \times 100 \quad [\%]$$

Kde:

- f procento jemných částic [%].
- M_1 hmotnost vysušené zkušební navážky [kg].
- M_2 hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063 [kg] .
- P hmotnost propadu jemných částic na dně [kg] [21], [22].

2.2 Pevnost v prostém tlaku

Zkouška pevnosti v prostém tlaku je základní laboratorní metodou pro hodnocení mechanických vlastností cementových malt a betonů. Tato zkouška se provádí v souladu s normou ČSN EN 12390-3: *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v prostém tlaku*, která stanovuje postup pro měření pevnosti vzorků vystavených rovnoměrnému tlakovému zatížení. Příprava zkušebních těles pro tuto zkoušku se řídí především normou ČSN EN 12390-2: *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*, která definuje postupy pro jejich výrobu, zrání a skladování.

Tato metoda je vhodná pro splnění cíle diplomové práce, kterým je ověření možnosti využití vratného prachu v cementové maltě pro prolití vrstvy částečně zpevněné cementovou maltou. Příklad přidání vratného prachu do cementové malty ovlivňuje její mechanické vlastnosti, a proto je klíčové zajistit, aby směs splňovala požadovanou pevnost v tlaku min. 7 MPa po 28 dnech zrání. Zkouška pevnosti v prostém tlaku poskytuje přesná data pro posouzení této vlastnosti a hodnocení vlivu různého množství vratného prachu na kvalitu cementové malty [2], [23], [24].

2.2.1 Princip zkoušky

Zkouška spočívá v rovnoměrném zatěžování zkušebního tělesa, dokud nedojde k jeho porušení. Zkušební tělesa, obvykle kostky o straně 150 mm nebo válce o průměru 150 mm a výšce 300 mm. Zátěž je aplikována strojně ve zkušebním lisu při konstantní

rychlosti deformace. Maximální zatížení, které těleso unese, se použije pro výpočet pevnosti v tlaku [23].

2.2.2 Použité zařízení

Zkušební lis, vyhovující EN 12390-4 [23].

2.2.3 Příprava zkušebních těles

Tento proces se řídí normou ČSN EN 12390-2, která stanovuje požadavky na výrobu, zrání a skladování zkušebních těles, aby byla zajištěna jejich reprezentativnost a standardizované podmínky [24].

Použité zařízení

- Formy.
- Prostředky na zhutňování betonu.
- Lopatka.
- Ocelová zednická lžice nebo hladítko.
- Nádoba na promíchání.
- Lopata.
- Separační prostředek, který nereaguje s betonem.
- Dřevěná palička [24].

Odběr vzorků

Vzorky čerstvého betonu se připravují podle specifikací normy ČSN EN 12390-1. Před plněním forem se čerstvý beton důkladně promíchá, aby byla zajištěna jeho homogenita. Odebraný vzorek musí být reprezentativní a odpovídat požadavkům na složení a konzistenci [24], [25].

Zkušební postup

Formy na zkušební tělesa se před použitím důkladně vyčistí a ošetří separačním prostředkem, aby bylo zabráněno přilnutí betonu k formě. Čerstvá cementová malta se nalévá do forem v tolika vrstvách, aby se dosáhlo náležitého zhutnění [24].



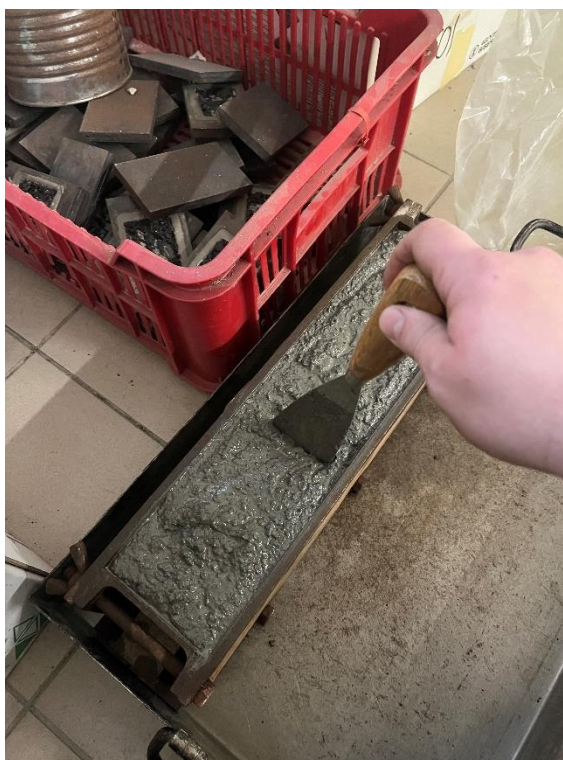
*Obrázek 10: Ošetření formy separačním
prostředkem*

Každá vrstva betonu se propichuje stěrkou, aby se minimalizovalo množství vzduchových dutin a zabránilo se segregaci vody. Hutnění se provádí ponorným vibrátorem, zhutňování na vibračním stole, ruční zhutňování nebo pomocí propichovací tyče. Proces hutnění musí být rovnoměrný, aby byla zajištěna homogenita zkušebního tělesa.

Po zhutnění všech vrstev se zednickou lžicí nebo stěrkou odstraní přebytečný beton nad horní hranou formy a povrch se opatrně urovná [24].



Obrázek 11: Vzorek pro zarovnání porchu



Obrázek 12: Ruční zhutnění

Značení

Po dokončení plnění forem se tělesa nesmazatelně označí identifikačními čísly, která umožňují jejich sledování během celého zkušebního procesu [24].

Ošetřování zkušebních těles

Po naplnění forem se tělesa ponechají v klidovém stavu při laboratorní teplotě (20 ± 5) °C po dobu minimálně 16 hodin ale ne déle než 3 dny. Následně se tělesa vyjmou z forem a ošetřují se až do doby těsně před zkoušením. Tělesa se buďto uloží do vodní lázně nebo prostředí při teplotě (20 ± 2) °C a relativní vlhkosti ≥ 95 %. Tato fáze zrání zajišťuje optimální hydrataci a dosažení požadovaných mechanických vlastností. Tělesa zůstávají v těchto podmínkách až do doby zkoušky [24].

2.2.4 Postup zkoušky

Zkušební tělesa se před zkouškou nařezou na požadované rozměry a řádně se označí. Poté se vizuálně zkontrolují, aby byla bez zjevných vad, jako jsou trhliny nebo dutiny v případě poškození těles je třeba jejich stav uvést do protokolu o zkoušce.



Obrázek 13: Nařezané a označené vzorky

Následně se přesně změří jejich rozměry a hmotnost. Tělesa se umístí mezi tlakové desky zkušebního lisu tak, aby byla zajištěna rovnoměrná distribuce zatížení na jejich povrch [24].

Po aplikaci počátečního zatížení, které nemá být vyšší než 30% zatížení při porušení se aplikuje konstantní rychlostí deformace $0,6 \pm 0,2$ MPa/s. Proces pokračuje, dokud není dosaženo maximálního zatížení, při kterém dojde k porušení tělesa. Maximální zatížení se přesně zaznamená jako klíčový parametr pro výpočet pevnosti v prostém tlaku [24].

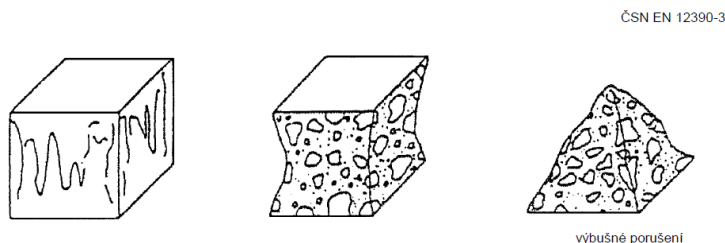


Obrázek 14: Umístění vzorku do lisu

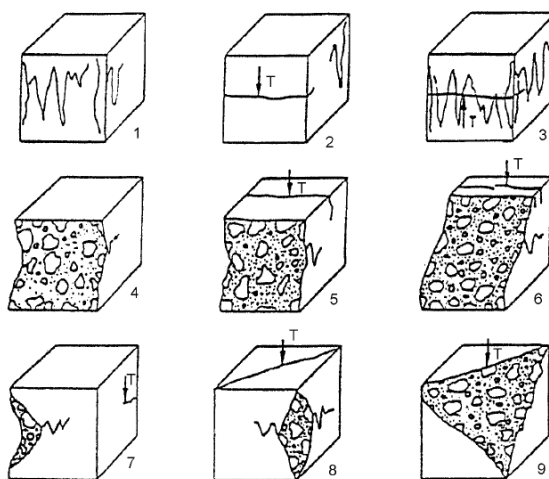


Obrázek 15: Porušení vzorku

Po provedení zkoušky se zkušební tělesa zkontrolují, aby byl identifikován způsob jejich porušení. Typy porušení, jako jsou diagonální trhliny, odštěpení hran nebo rozpad tělesa, se zaznamenají, protože poskytují informace o kvalitě materiálu a případných vadách ve struktuře cementové malty [24].



Obrázek 16: Vyhovující způsoby porušení zkušebních krychlí [24]



Legenda
T = tahová trhlina

Obrázek 17: Některé nevhovující způsoby porušení zkušebních krychlí [24]

2.2.5 Výpočet

Pevnost v prostém tlaku (f_c) se vypočítá podle vztahu:

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

Kde:

- f_c pevnost v prostém tlaku [MPa],
- F maximální zatížení při porušení tělesa [N],
- A_c plocha zatěžované části tělesa [mm²] [24].

2.3 Stanovení konzistence

Stanovení konzistence cementové malty je důležitým aspektem při hodnocení její zpracovatelnosti a vhodnosti pro konkrétní stavební aplikace. Konzistence cementové malty je definována jako její schopnost zaujmout určitý tvar nebo rozprostřít se pod vlivem vlastní hmotnosti nebo vnějšího zatížení. Normy rozlišují tři hlavní metody pro stanovení konzistence: metodu sednutím, metodu rozlitím a metodu charakterizovanou hodnotou penetrace [34].

V této diplomové práci byla konzistence cementové malty stanovována pro správný návrh směsí. Konzistence určována metodou rozlitím i metodou sednutím. Volba těchto metod vycházela z dostupnosti laboratorního vybavení a požadavků na přípravu cementové malty pro ŠCM.

2.3.1 Stanovení konzistence rozlitím

Tato zkouška konzistence se provádí v souladu s normou ČSN EN 1015-3: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím stříkacího stolku)*. Metoda je určena pro čerstvé malty a její účelem je stanovení konzistence charakterizovanou hodnotou rozlití [28].

Výsledky budou vztaženy k podmínkám pro kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí (KAPS) uvedeným v normě ČSN 73 6127-4.

Princip zkoušky

Hodnota rozlití se stanoví změřením průměru rozlitého zkušební vzorku čerstvé malty umístěné na předepsané desce stříkacího stolku pomocí předepsaného kovového kužele po předepsaném počtu svislých pádů, při nichž se deska stříkacího stolku zvedá a pak volně padá z předepsané výšky [28].

Zkušební zařízení

- **Střásací stolek** složený z rámu, tuhé příruby a desky, vodorovného hřídele a zvedací vačky, zvedané tyče.
- **Kovový kužel** vysoký ($60 \pm 0,5$) mm o vnitřním průměru ($100 \pm 0,5$) mm ve spodní části a vnitřním průměru ($70 \pm 0,5$) mm v horní části.
- **Dusadlo** sestávající z tuhé tyče kruhového průřezu o průměru cca 40 mm a délce cca 200 mm.
- **Vhodné měřidlo** umožňující měření průměru do 300 mm s přesností 1 mm.
- **Zednická lžice.**
- **Špachtle** [28].



Obrázek 18: Zkušební kužel

Vzorkování

Zkušební vzorek mít objem nejméně 1,5 l a musí být získán zmenšením základního zkušební vzorku pomocí dělení vzorků nebo kvartací.

Před zkoušením musí být dávka malty ručně řádně promíchána po dobu 5 až 10 s. Zkouška musí být provedena na dvou zkušebních vzorcích [28].

Postup zkoušení

Před každou zkouškou se deska a vnitřní povrch kužele očistí. Následně se jejich povrch natře tenkou vrstvou minerálního oleje o velmi nízké viskozitě.

Kovový kužel se umístí do středu desky střešovacího stolku a naplní se maltou ve dvou vrstvách. Každá vrstva se rozprostře nejméně 10 lehkými údery dusadla tak, aby byl kovový kužel rovnoměrně naplněn. Během plnění se kovový kužel jednou rukou přidržuje k desce.

Přebytečná malta se setře pomocí špachtle a volná plocha desky se pečlivě otře, aby byla čistá a suchá, přičemž se pečlivě dbá na odstranění stékajících okrajů kovového kužele.



Obrázek 19: Odstranění přebytečné malty

Asi po 15 s se kovový kužel lehce zvedne kolmo vzhůru a malta na desce střešovacího stolku rozlije 15 nárazy s konstantní frekvencí asi jednou za sekundu.

Průměr koláče malty se změří ve dvou na sebe kolmých směrech pomocí vhodného měřítka. Výsledek se udává v mm s přesností 1 mm [28].



Obrázek 20: Malta před ručním střesením



Obrázek 21: Malta po ručním střesení

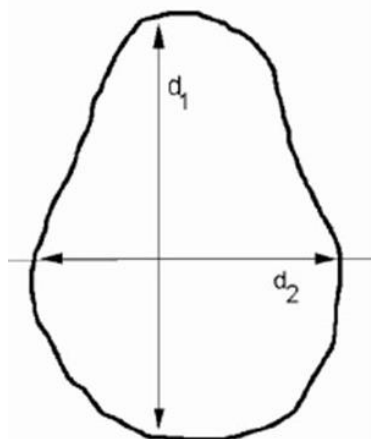


Obrázek 22: Měření konzistence rozlitím

Výpočet a vyjádření výsledků

Vypočítá se průměrná hodnota ze dvou měření. Tato průměrná hodnota je hodnotou rozlití zkušební vzorku. Liší-li se jednotlivé hodnoty rozlití dvou zkušebních vzorků od jejich průměrné hodnoty o méně než 10 %, považuje se tato průměrná hodnota za hodnotu rozlití malty. Liší-li se o více než 10 %, opakuje se zkouška s použitím další malty ze zmenšeného základního zkušební vzorku. Liší-li se výsledky i nadále o více než 10 %, považuje se stanovení za nevyhovující a ze základního zkušební vzorku nebo z laboratorně připravené malty se odebere nový zkušební vzorek a zkouška se opakuje.

Výsledky budou vztaženy k parametrům konzistence kameniva zpevněného popílkovou suspenzí (KAPS), neboť norma ČSN 73 6127-1, která specifikuje požadavky na vrstvy částečně zpevněné cementovou maltou (ŠCM), neuvádí metodiku stanovení konzistence pomocí rozlití. S ohledem na podobnost konstrukčního řešení obou vrstev, kdy KAPS rovněž představuje prolévanou podkladní vrstvu s kamennou kostrou tvořenou frakcí 32/63, je možné využít její požadavky jako relevantní referenční rámec. Dle normy ČSN 73 6127-4 je požadovaná konzistence popílkové suspenze KAPS definována v rozmezí 160–220 mm [28], [29].



Obrázek 23: Měření rozlití [28]

2.3.2 Stanovení konzistence sednutím

Tato zkouška konzistence se provádí v souladu s normou ČSN EN 12350-2: *Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím*. Metoda je určena pro čerstvé malty a jejím účelem je stanovení konzistence charakterizovanou hodnotou sednutí.



Tato metoda je vhodná pro aplikaci u cementových malt používaných ve vrstvách částečně zpevněných cementovou maltou (ŠCM), protože její použití přímo stanovuje norma ČSN 73 6127-1, která také stanovuje, že konzistence malty musí být v rozmezí $130 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ [2], [30].

Princip zkoušky

Čerstvý beton se zhutní ve formě tvaru komolého kužele. Po zvednutí komolého kužele nahoru udává konzistenci betonu změřená vzdálenost, o kterou poklesl beton [30].

Zkušební zařízení

- Dutý kužel.
- Propichovací tyč.
- Násypka (doporučená).
- Pravítko.
- Podkladní deska/povrch.
- Nádoba.
- Lopata.
- Vlhký hadřík.
- Lopatka.
- Stopky.
- Neprodyšná nádoba.
- Hladítko nebo zednická lžice [30].



Obrázek 24: Zkušební pomůcky

Vzorkování

Vzorek betonu se získá postupem uvedeným v ČSN EN 12350-1 [30].

Zkušební postup

Kužel i podkladní deska se navlhčí a kužel se položí na vodorovný povrch. Během plnění kužele musí být tento kužel plně přichycen k povrchu buď svěrkami nebo přitlačení dvou příložek.

Kužel se plní ve třech vrstvách, každá přibližně jedné třetiny výšky kužele po zhutnění. Každá vrstva se zhutňuje 25 vpichy propichovací tyčí. Vpichy jsou rovnoměrně rozloženy po průřezu každé vrstvy. Pro zhutňování spodní vrstvy je nutno propichovací tyč mírně naklonit a asi polovinou vpichů rozložit spirálovitě ke středu. První vrstva se zhutňuje přes celou svoji výšku, aniž by tyč narazila na dno. Druhá a vrchní vrstva se hutní přes celou svou výšku tak, aby jejich vpichy nezasahovaly do předešlé vrstvy. Při plnění a zhutňování vrchní vrstvy se před zhutňováním beton přeplní nad horní okraj kužele.



Obrázek 25: Hutnění zkušebního vzorku

Jestliže by po zhutnění vrchní vrstvy vznikl nedostatek betonu, je nutno přidat beton, aby byl vždy nad horním okrajem kužele přebytek betonu. Po zhutnění vrchní vrstvy se přebytečný beton odstraní zednickou lžící.

Z povrchu se odstraní spadlý beton. Kužel se opatrně odstraní svislým pohybem nahoru. Zvedání formy se musí provést během dvou až pěti sekund rovnoměrně bez otáčení, které by mohlo působit na beton.

Celá zkouška od počátku plnění až po zvednutí formy musí probíhat bez přerušení a musí být ukončena během 150 s.

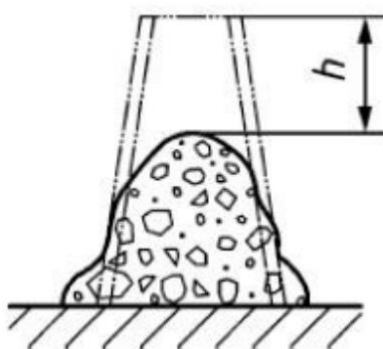


Obrázek 26: Zvednutí kužele



Obrázek 27: Sednutí zkušební vzorku

Ihned po zvednutí formy se změří a zaznamená sednutí h zjištěním rozdílu mezi výškou formy a nejvyšším bodem sednutého zkušební vzorku.



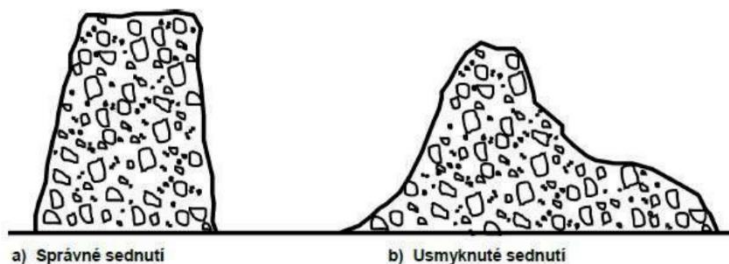
Obrázek 28: Měření sednutí kužele [30]

Konzistence betonu se mění v čase v důsledku hydratace cementu a možné ztráty vlhkosti. Pokud se mají docílit přesné srovnatelné výsledky zkoušek, musí být zkoušky prováděny na různých vzorcích ve stejném čase po zamíchání [30].

Výsledek zkoušky

Výsledek zkoušky je platný pouze tehdy, pokud dojde ke skutečnému sednutí, to znamená, že malta zůstala neporušena a kužel je symetrický, jak je vidět na obrázku 29.

Jestliže se dojde k usmýknutí musí se odebrat jiný vzorek a postup opakovat.



Obrázek 29: Výsledné tvary sednutí [30]

Jestliže i u následné zkoušky dojde k usmýknutí betonu zkušebního tělesa, pak beton má nedostatečnou plasticitu a soudržnost a je nevhodný pro zkoušku sednutím.

Zaznamená se skutečné sednutí h , jak je vidět na obrázku 18, s přesností na 10 mm.

Požadavky na konzistenci cementové malty pro ŠCM stanovuje norma ČSN 73 6127-1, která uvádí sednutí v rozmezí $130 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$ [2], [30].

3 POUŽITÉ MATERIÁLY

V rámci této diplomové práce bylo analyzováno kamenivo z celkem sedmi lomů za účelem stanovení množství vratného prachu pomocí síťového rozboru z významnějšího souboru dat. Dále byly připraveny čtyři směsi cementové malty pro vrstvy částečně zpevněné cementovou maltou (ŠCM), ve kterých byl použit vratný prach z obalovny asfaltových směsí firmy Skanska (Pardubice), frakce kameniva 0/4 z lomu Jakubčovice na Moravě, cement třídy 32,5 R a voda odpovídající normě ČSN EN 1008.

3.1 Kamenivo

Bylo použito kamenivo odebrané z celkem sedmi různých lomů nacházejících se na střední Moravě. Z jednoho lomu bylo odebráno kamenivo prané a sloužilo tak jako výchozí, referenční vzorek, zatímco z ostatních lomů bylo neprané. Kamenivo zahrnovalo úzké frakce, které byly vybrány s ohledem na jejich běžné využití v asfaltových a cementových směsích. Odběr vzorků probíhal v souladu s normativními požadavky, aby byly zajištěny reprezentativní podmínky pro následné laboratorní zkoušky. Vzorky byly skladovány za standardních laboratorních podmínek, aby nedošlo k ovlivnění jejich kvality před analýzou.

Podrobné informace o vlastnostech kameniva, jeho frakcích a způsobu výroby jsou uvedeny v kapitole *1.2 Kamenivo*, zatímco technologický proces praní kameniva je popsán v kapitole *1.3 Praní kameniva*.

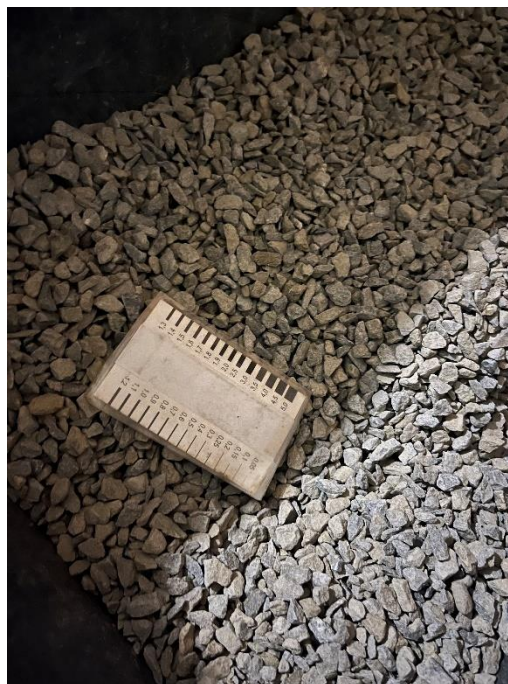
3.1.1 Lom Jakubčovice

Z lomu Jakubčovice byly odebrány čtyři frakce praného kameniva, které sloužily jako výchozí vzorek pro ověření množství vratného prachu v produkovaných úzkých frakcích kameniva. Toto kamenivo bylo zároveň použito jako složka ve všech vzorcích cementové malty pro ŠCM.

- Provozovatel: EUROVIA Kamenolomy, a.s.
- Lokalita: Jakubčovice nad Odrou, okres Nový Jičín, Moravskoslezský kraj.
- Těžená hornina: Moravská droba.
- Zpracování: Kamenivo je zpracováváno suchými i mokkými technologickými procesy, včetně praní.
- Odběr vzorku: Duben 2024.
- Použité frakce: 0/4, 4/8, 8/11, 11/16.



Obrázek 31: Jakubčovice frakce 0/4



Obrázek 30: Jakubčovice frakce 4/8

3.1.2 Lom Výkleky

- Provozovatel: Českomoravský štěrk, a.s.
- Lokalita: Výkleky, okres Přerov, Olomoucký kraj.
- Těžená hornina: Moravská droba.
- Odběr vzorku: 23. října 2024.
- Použité frakce: 0/2, 2/4, 4/8, 8/11, 8/16.



Obrázek 32: Výkleky

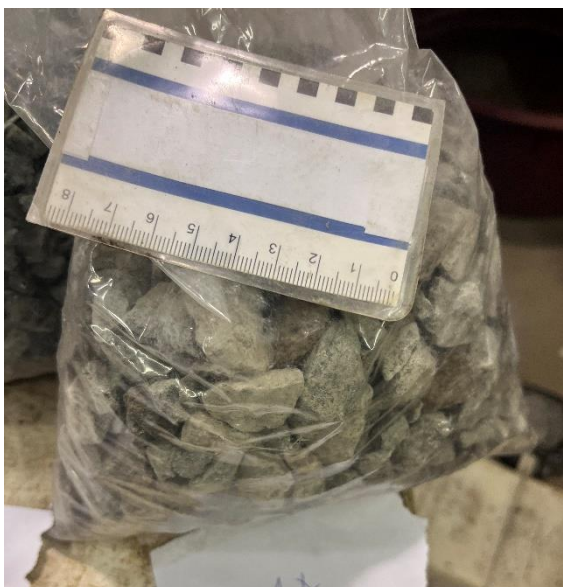
3.1.3 Obalovna asfaltových směsí Chrlice

Do obalovny se dováží kamenivo z různých lomů, přičemž odebraná frakce 11/22 pochází z lomu Lhota Rapotín a frakce 0/4, 4/8, 8/11 z Lomu Luleč.

- Provozovatel: Brněnská obalovna, s.r.o.
- Lokalita: Brno – Chrlice, Jihomoravský kraj.
- Odběr vzorku: 31. října 2024.

Lom Lhota Rapotina

- Provozovatel: KAMENOLOMY ČR s.r.o. ve vlastnictví STRABAG SE.
- Lokalita: Lhota Rapotina, okres Blansko, Jihomoravský kraj.
- Těžená hornina: Granodiorit.
- Použité frakce: 11/22.



Obrázek 33: Lhota Rapotina

Lom Luleč

- Provozovatel: Českomoravský štěrk, a.s.
- Lokalita: Luleč, okres Vyškov, Jihomoravský kraj.
- Těžená hornina: Moravská droba.
- Použité frakce: 0/4, 4/8, 8/11.



Obrázek 34: Luleč

3.1.4 Lom Kobeřice

- Provozovatel: Kámen Brno, spol. s r.o.
- Lokalita: Kobeřice, okres Prostějov, Olomoucký kraj.
- Těžená hornina: Moravská droba.
- Odběr vzorku: 27. listopadu 2024.
- Použité frakce: 0/4, 4/8, 8/16.



Obrázek 35: Kobeřice

3.1.5 Lom Koží Vrch

- Provozovatel: KAMENOLOMY ČR s.r.o ve vlastnictví STRABAG SE.
- Lokalita: Loštice, okres Šumperk, Olomoucký kraj.
- Těžená hornina: Moravská droba
- Odběr vzorku: 27. listopadu 2024.
- Použité frakce: 0/4, 4/8, 8/11, 8/16, 11/22.



Obrázek 36: Koží vrch

3.1.6 Lom Ochoz

- Provozovatel: KLCT, s.r.o ve vlastnictví společnosti Kalcit s.r.o.
- Lokalita: Ochoz u Brna, okres Brno-venkov, Jihomoravský kraj.
- Těžená hornina: Vápenec.
- Odběr vzorku: 27. listopadu 2024.
- Použité frakce: 0/4, 4/8, 8/16, 11/22.



Obrázek 37: Ochoz

3.1.7 Lom Líšeň

- Provozovatel: Kalcit s.r.o.
- Lokalita: Brno-Líšeň, okres Brno-město, Jihomoravský kraj.
- Těžená hornina: Vápenec.
- Odběr vzorku: 27. listopadu 2024.
- Použité frakce: 0/4, 4/8, 8/11, 11/22.



Obrázek 38: Líšeň

3.2 Vratný prach

Vratným prachem a jeho vlastnostmi a vznikem se podrobně zabývá kapitola 1.8 *Vratný prach*. Tento materiál byl analyzován pro jeho možné využití v cementové maltě a pro stanovení jeho vlivu na vlastnosti směsí.

- Obalovna: Pardubice
- Provozovatel: Skanska a.s.
- Lokalita: Pardubice – Semtín, okres Pardubice, Pardubický kraj
- Odběr vzorku: 2023



Obrázek 39: Vratný prach

3.3 Cement

Cement byl použit jako pojivo v cementové maltě pro laboratorní zkoušky. Pro splnění požadavků normy ČSN 73 6127-1 byl použit cement třídy 32,5 R, který splňuje požadavky normy ČSN EN 197-1.

Třída pevnosti 32,5 znamená, že charakteristická pevnost v tlaku po 28 dnech dosahuje minimálně 32,5 MPa, zatímco písmeno R označuje rychlejší nárůst počátečních pevností oproti normálním cementům označeným jako N. Z tohoto důvodu nezáleží na tom, zda se jedná o variantu R nebo N uvedenou v normě.



Obrázek 40: Cement

PRAKTICKÁ ČÁST

4 CEMENTOVÁ MALTA PRO ŠCM

Pro ověření možnosti využití vratného prachu ve vrstvách částečně zpevněných cementovou maltou (ŠCM) byly navrženy a připraveny čtyři různé cementové malty. Návrh směsí vychází z požadavků normy ČSN EN 73 6127-1, podrobně rozpracovaných v kapitole 1.9 *Štěrka částečně vyplněná cementovou maltou*. Proces přípravy zkušebních těles byl realizován v souladu s normou ČSN EN 12390-2, jejíž detailní postup je popsán v kapitole 2.2.3 *Příprava zkušebních těles*. Tento přístup zajišťuje, že směsi i jejich zkoušení odpovídají normativním požadavkům a jsou vhodné pro další laboratorní analýzu.

4.1 Návrh cementových malt

Návrh cementové malty s přidavkem vratného prachu nebyl dosud řešen žádnou studií ani normou, a proto bylo nutné vycházet z požadavků normy ČSN EN 73 6127-1, která byla přizpůsobena pro přidání dalších příměsí.

4.1.1 Základní předpoklady

Prvním předpokladem bylo, že chemické vlastnosti vratného prachu umožňují jeho využití jako plniva. Jak je podrobně rozebráno v kapitole 1.8 *Vratný prach*, tento materiál vykazuje fyzikální a chemické vlastnosti, které jej činí vhodným pro částečnou náhradu kameniva ve směsi. Proto byly při návrhu směsí zachovány poměry cementu k plnivové složce (tj. směsi kameniva a vratného prachu) v intervalu 1 : 5 až 1 : 8 a poměr vody k cementu 1 : 2, jak stanovuje norma ČSN EN 73 6127-1.

Druhým předpokladem bylo, že směsi s různým podílem vratného prachu v plnivové složce mohou mít odlišné mechanické vlastnosti, přičemž vyšší podíly vratného prachu mohou negativně ovlivnit pevnost v prostém tlaku. S ohledem na běžné inženýrské aplikace bylo rozhodnuto zkoušet směsi s podílem vratného prachu 0 %, 10 %, 30 % a 50%. Podíl 0 % byl zvolen jako referenční směs, zatímco postupné navyšování podílu vratného prachu až do 50 % umožňuje vyhodnotit jeho vliv na kvalitu směsi v širším rozsahu.

Rozsah zkoumaných podílů vratného prachu byl stanoven tak, aby bylo možné ověřit možnosti jeho využití ve vrstvách částečně zpevněných cementovou maltou (ŠCM). Zároveň byl zvolen tak, aby poskytl základní přehled o vlivu jednotlivých podílů a umožnil případné zpřesnění v budoucích studiích, které by se mohly zaměřit na podrobnější analýzu a optimalizaci směsí.

4.1.2 Materiály

Pro sestavení cementových malt byly použity materiály uvedené v kapitole 3. *Použité materiály*. Jednalo se o prané kamenivo frakce 0/4 z lomu Jakubčovice, cement třídy 32,5 R a vodu splňující požadavky normy ČSN EN 1008.

4.1.3 Objem a hmotnost vzorku

Pro zajištění přesného stanovení množství jednotlivých materiálů a minimalizaci plýtvání bylo nutné určit celkovou hmotnost cementové malty potřebné pro jeden zkušební vzorek. Tento výpočet byl proveden ve dvou krocích.

Nejprve byl stanoven objem formy pro cementovou maltu pomocí vztahu:

$$V = a * b * c$$

Kde:

V objem [m³]

a,b,c délky jednotlivých stran [m]

Podrobnosti výpočtu objemu jsou uvedeny v příloze č.1, přičemž objem formy byl stanoven na **4,02 · 10⁻³ m³**.

Následně byla hmotnost cementové malty vypočítána vztahem:

$$m = V * \rho$$

Kde:

m hmotnost [kg]

V objem [m³]

ρ objemová hmotnost [kg/ m³]

Podrobnosti výpočtu hmotnosti jsou rovněž uvedeny v příloze 1, přičemž výsledná hmotnost cementové malty byla stanovena na **9,5 kg**.

4.1.4 Návrh receptury směsí

Na základě stanovených základních předpokladů a vypočtené hmotnosti jednoho zkušební vzorku byla navržena receptura pro čtyři cementové malty s různým podílem vratného prachu. Tyto směsi byly navrženy tak, aby splňovaly požadavky na hmotnostní zastoupení jednotlivých složek a umožnily vyhodnotit vliv různého obsahu vratného prachu na vlastnosti směsí.

Podrobný výpočet receptury cementové malty je uveden v příloze č. 1. Hmotnostní zastoupení jednotlivých materiálů pro každou z navržených cementových malt je shrnuto v *tabulce 3*.

Tabulka 3: Návrh receptury cementových směsí

	0 % prachu [g]	10 % prachu [g]	30 % prachu [g]	50 % prachu [g]
prach	0,0	760,0	2280,0	3800,0
kámen	7600,0	6840,0	5320,0	3800,0
cement	1266,7	1266,7	1266,7	1266,7
voda	633,3	633,3	633,3	633,3
celkem	9500,0	9500,0	9500,0	9500,0

4.2 Příprava cementových malt

Proces přípravy vzorků cementových malt vycházel z požadavků normy ČSN EN 12390-2, jejíž detailní postup je popsán v kapitole 2.2.3 *Příprava zkušebních těles*. Příprava směsí byla provedena v několika krocích, aby byla zajištěna homogenita směsí a splnění normativních požadavků na konzistenci.

Nejprve byla pomocí stolní váhy do misky navážena požadovaná množství kameniva, cementu a vratného prachu podle hodnot uvedených v *tabulce 3: Návrh receptury cementových směsí*. Jednotlivé složky byly následně promíchány v připravené nádobě. Po homogenním promíchání pevných složek byla postupně přidávána voda za stálého míchání. Tento postup byl zvolen, aby se zabránilo tvorbě hrudek cementu nebo vratného prachu a bylo dosaženo rovnoměrného rozložení všech složek ve směsi.

Po důkladném promíchání všech složek byla vizuálně zhodnocena konzistence směsi a vyhodnocen první předpoklad z kapitoly 4.1.1. *Základní předpoklady*. Tento předpoklad však nebyl potvrzen, protože konzistence cementové malty byla nižší než stanovuje norma.



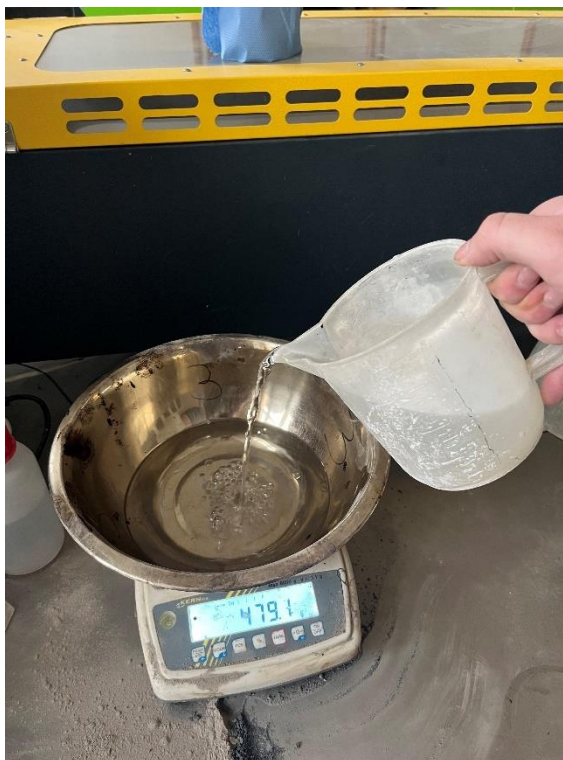
Obrázek 41: Konzistence malty dle tabulky 3

Nižší konzistence byla způsobena vysokou nasákavostí vratného prachu, která ovlivnila množství volné vody ve směsi. Z tohoto důvodu bylo nezbytné původní recepturu upravit. Bylo provedeno experimentální stanovení vodního součinitele mezi vratným prachem a vodou, na jehož základě byla receptura cementové malty optimalizována pro další laboratorní zkoušky.

4.2.1 Stanovení vodního koeficientu

Vodní koeficient byl stanoven experimentálně na základě vizuální kontroly konzistence směsi. Tento přístup umožnil upravit množství vody tak, aby směs splňovala požadavek na konzistenci cementové malty dle normy ČSN EN 73 6127-1.

Postup stanovení spočíval ve stanovení počátečního poměru vratného prachu a vody pro každou směs. Tento poměr byl následně postupně zvyšován, dokud výsledná směs nedosáhla požadované konzistence.



Obrázek 42: Přidání přesného množství vody

Po dosažení požadované konzistence byl poměr přepočítán na vodní koeficient podle vztahu:

$$\text{Vodní součinitel} = \frac{w}{c}$$

Kde:

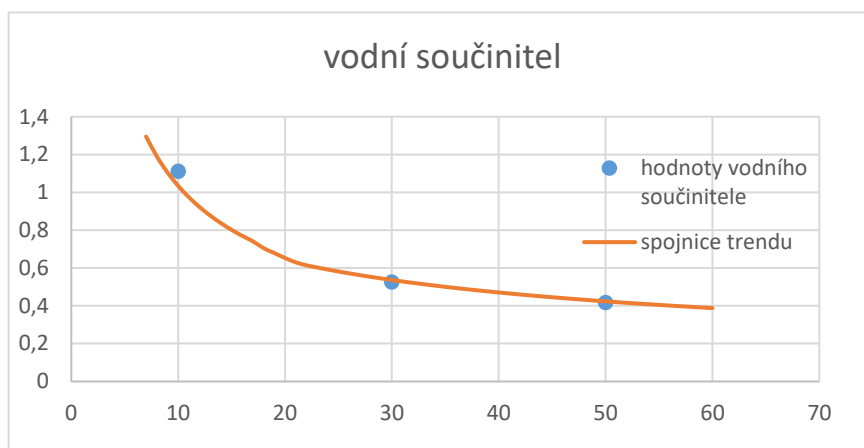
w hmotnost vody,

c hmotnost vratného prachu,

Průběh stanovení vodního součinitele a je uveden v příloze č.2 a výsledná hodnota vodního součinitele je uvedena v tabulce 4.

Tabulka 4: Vodní součinitel

vratný prach [%]	poměr prach : voda	vodní součinitel
0	-	-
10	0,9 : 1	1,111
30	1,9 : 1	0,526
50	2,4 : 1	0,417



Graf 1: Vodní součinitel se spojnicí trendu

4.2.2 Nový návrh receptury směsí

V důsledku nasákavosti vratného prachu bylo nutné upravit původní recepturu cementových malt přidáním vody, aby směsi splňovaly požadavek na konzistenci.

Upravená receptura zohledňuje přidané množství vody pro jednotlivé směsi na základě výsledků stanovení vodního koeficientu (viz kapitola 4.2.1). Nové hmotnostní zastoupení jednotlivých složek je uvedeno v tabulce 5.

Tabulka 5: Nový návrh receptury cementových směsí

	0 % prachu [g]	10 % prachu [g]	30 % prachu [g]	50 % prachu [g]
prach	0,0	760,0	2280,0	3800,0
kámen	7600,0	6840,0	5320,0	3800,0
cement	1266,7	1266,7	1266,7	1266,7
voda původní	633,3	633,3	633,3	633,3
voda přidaná	0,0	844,4	1200,0	1583,3
voda celkem	633,3	1477,7	1833,3	2216,7
celkem	9500,0	10344,4	10700,0	11083,3



Obrázek 43: Konzistence malty dle tabulky 5

4.2.3 Umístění do formy a skladování zrání

Po přípravě cementových malt dle upravené receptury uvedené v *tabulce 5: Nový návrh receptury cementových směsí*, a důkladném promíchání byly malty nality do forem. Formy byly před nalitím směsi důkladně vyčištěny a vytřeny tenkou vrstvou silikonového oleje tak, aby nedošlo k přilnutí malty k formě.

Vzhledem k vyšší konzistenci cementové malty ve srovnání s betonem nebyla směs vkládána po vrstvách, ale vylita najednou. Postup s vkládáním do formy po vrstvách byl nadbytečný, neboť by docházelo k infiltraci vrstev a neefektivnosti hutnění.

Po vylití do formy byla malta zhutněna ručně, aby se minimalizoval výskyt vzduchových dutin. Povrch směsi byl následně zarovnán, čímž se zajistila rovnoměrná tloušťka vzorků. Kvůli vysoké tekutosti směsi nebylo možné vzorky přímo označit, proto byla označena forma. Vzorky byly opatřeny identifikačními značkami až po 7 dnech zrání.

Formy byly uloženy v laboratorní místnosti s kontrolovanou teplotou. Aby byla zajištěna optimální vlhkost potřebná pro hydrataci cementu, byly vzorky během zrání uleženy do bedny z tvrdého plastu a ošetřovány pomocí mokrého hadru, který pokrýval

povrch forem. Následně byla bedna uzavřena poklopem. Tento postup zajistil odpovídající podmínky pro správné zrání zkušebních těles.

4.3 Stanovení konzistence

V rámci návrhu cementových malt byla konzistence hodnocena pouze vizuálně, což vyvolalo potřebu jejího přesného ověření. Bylo nezbytné určit, zda směsi splňují požadavek na konzistenci v rozmezí $130 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$, který stanovuje norma ČSN 73 6127-1.

Laboratoř Ústavu pozemních komunikací Fakulty stavební není vybavena zařízením potřebným k provedení zkoušky stanovení konzistence sednutím. Proto bylo rozhodnuto využít alternativní metodu stanovení konzistence rozlitím. Tato metoda však nemá přímou oporu v normách specifikujících požadavky pro vrstvy částečně zpevněné cementovou maltou (ŠCM). Výsledky byly proto vztaženy k podmínkám pro kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí (KAPS), které specifikuje norma ČSN 73 6127-4. Ta uvádí požadovanou konzistenci v rozmezí 160–220 mm. Vhodnost tohoto přístupu je podrobně odůvodněna v kapitole 2.3.1 *Stanovení konzistence rozlitím*, v části *Výpočet a vyjádření výsledků*.

Při přípravě zkoušek bylo dále zjištěno, že laboratoř rovněž postrádá část potřebného vybavení pro přesné výsledky ze zkoušky stanovení konzistence rozlitím. Proto bylo zapůjčeno vybavení pro zkoušku stanovení konzistence sednutím od Ústavu technologie stavebních hmot a dílců Fakulty stavební. Tato zkouška přímo ověřuje splnění požadavků normy ČSN 73 6127-1, která definuje konzistenci v rozmezí $130 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$.

Vzhledem k této situaci bylo rozhodnuto provést obě zkoušky paralelně. Tímto způsobem bylo možné nejen ověřit splnění požadavků na konzistenci pro ŠCM, ale také posoudit, zda lze normové požadavky pro KAPS stanovené v ČSN 73 6127-4 považovat za relevantní i pro vrstvy ŠCM.

4.3.1 Příprava cementových malt

Příprava cementových malt pro zkoušky konzistence byla realizována obdobně jako v kapitole 4.2 *Příprava cementových malt*. S ohledem na současné provedení zkoušek konzistence sednutím a rozlitím bylo nezbytné upravit receptury uvedené v *tabulce 5: Nový návrh receptury cementových směsí* (kapitola 4.2.2) na požadované množství směsi odpovídající těmto zkouškám.

Potřebné množství směsi

Pro zkoušku rozlitím byl nejprve stanoven objem zkušební kužele pomocí vzorce pro objem komolého kužele:

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + R \cdot r + r^2)$$

Kde:

- V Objem komolého kužele [m³],
- R Poloměr dolní postavy [m],
- r Poloměr horní postavy [m],
- h výška komolého kužele [m] [31].

Rozměry kužele použitého pro zkoušku rozlitím jsou uvedeny v kapitole 2.3.1 *Stanovení konzistence rozlitím*.

Výpočet objemu probíhal následovně:

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot 0,06 \cdot (0,05^2 + 0,05 \cdot 0,035 + 0,035^2) = 0,000344 = 3,440 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Objem kužele pro zkoušku sednutím byl určen stejnou metodou, přičemž rozměry kužele (výška 300 mm, průměr dolní podstavy 200 mm, průměr horní podstavy 100 mm) odpovídají normě ČSN EN 12350-1.

Výpočet objemu:

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot 0,3 \cdot (0,1^2 + 0,1 \cdot 0,05 + 0,05^2) = 0,005498 = 5,498 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Celkový objem směsi potřebné pro obě zkoušky byl vypočítán jako součet objemů jednotlivých kuželů. Hmotnost směsi byla vypočtena na základě objemové hmotnosti cementové malty $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$ podle vztahu:

$$m = V_{\text{celkem}} \cdot \rho = (0,000344 + 0,005498) \cdot 2100 = 12,268 \text{ kg}$$

Pro zajištění dostatečného množství materiálu byl použit koeficient bezpečnosti 1,1 a hmotnost zaokrouhlena:

$$m = 12,268 \cdot 1,1 = 13,495 \cong 13,5 \text{ kg}$$

Na základě výše uvedených výpočtů byla *tabulka 5: Nový návrh receptury cementových směsí* přepočítána pomocí koeficientů odpovídajících jednotlivým směsím:

- Pro směs s 0 % vratného prachu: *koeficient přepočtu* = $\frac{13,5}{9,5} = 1,421$
- Pro směs s 10 % vratného prachu: *koeficient přepočtu* = $\frac{13,5}{10,344} = 1,305$
- Pro směs s 30 % vratného prachu: *koeficient přepočtu* = $\frac{13,5}{10,7} = 1,262$
- Pro směs s 50 % vratného prachu: *koeficient přepočtu* = $\frac{13,5}{11,083} = 1,218$

Tabulka 6: Receptura cementových směsí pro stanovení konzistence

	0 % prachu [g]	10 % prachu [g]	30 % prachu [g]	50 % prachu [g]
prach	0,0	991,8	2876,6	4628,6
kámen	10800,0	8926,6	6712,1	4628,6
cement	1800,0	1653,1	1598,1	1542,9
voda	900,0	1928,5	2313,1	2700,0
celkem	13500,0	13500,0	13500,0	13500,0

4.3.2 Stanovení konzistence rozlitím

Stanovení konzistence rozlitím bylo realizováno v souladu s normou ČSN EN 1015-3: *Zkušební metody malt pro zdivo – Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stolku)*. Podrobný popis metodiky je uveden v kapitole 2.3.1 *Stanovení konzistence rozlitím*.

Během přípravy bylo zjištěno, že laboratoř Ústavu pozemních komunikací nedisponuje střešacím stolkem. I přesto bylo rozhodnuto pokračovat ve zkoušce, přičemž proces střešání byl proveden ručně.

Postup zkoušky

Cementová malta byla připravena podle postupu uvedeného v kapitole 4.3.1 *Příprava cementových malt*, přičemž hmotnost jednotlivých složek odpovídala hodnotám uvedeným v tabulce 6: *Receptura cementových směsí pro stanovení konzistence*. Zkušební vzorky byly odebrány z připravené směsi metodou kvartace, aby bylo zajištěno jejich reprezentativní složení. Před zkouškou byly vzorky po dobu přibližně 10 sekund důkladně promíchány.

Vzhledem k absenci střešacího stolku byl jako pracovní deska použit dostatečně velký plech. Povrch plechu byl před zahájením zkoušky důkladně vyčištěn a pokryt tenkou vrstvou silikonového oleje, aby se zabránilo přilnutí malty. Stejný postup byl aplikován také na vnitřní povrch zkušební kužele.

Kužel byl umístěn do středu pracovní desky a následně naplněn cementovou maltou ve dvou vrstvách. Každá vrstva byla rovnoměrně zhutněna 10 údery dusadla. Po naplnění byl povrch malty zarovnan špachtlí, přebytečný materiál byl odstraněn a stékající malta byla setřena kuchyňskou utěrkou. Po krátké pauze (cca 15 sekund) byl kužel opatrně zvednut kolmo vzhůru, aby nedošlo k narušení výsledného tvaru malty.

V souladu s normou se malta běžně rozlévá na střešacím stolku při 15 úderech desky s konstantní rychlostí ($10 \pm 0,2$ mm/s). Tento postup byl simulován ručním nadzvednutím pracovní desky o přibližně 10 mm a jejím následným uvolněním, čímž byl zajištěn volný pád. Frekvence byla udržována přibližně na 1 úder za sekundu. Po celou dobu zkoušky byla věnována zvláštní pozornost tomu, aby pohyb desky byl čistě svislý a nedocházelo k žádným horizontálním nebo rotačním pohybům.



Obrázek 44: Ruční střásání cementové malty

Po provedení 15 úderů byl průměr rozlité cementové malty změřen pomocí posuvného měřítka nebo úhelníkového metru ve dvou na sebe kolmých směrech.

Stejný postup byl následně opakován s druhým vzorkem stejné směsi. Platnost zkoušky byla ověřena tím, že rozdíl mezi jednotlivými hodnotami rozlité nepřekročil 10 % jejich průměrné hodnoty. V případě splnění této podmínky byla zkouška považována za úspěšně provedenou a zkouška se mohla opakovat s další směsí.

Výsledky zkoušky

Naměřené hodnoty průměru „koláče“ byli zaznamenány jako d_1 a d_2 , s přesností 1 mm. Z těchto hodnot byl následně vypočítán aritmetický průměr pomocí následujícího vztahu:

$$\text{Průměr hodnot} = \frac{\text{Součet všech hodnot}}{\text{Počet všech hodnot}}$$

Odchylka každé jednotlivé hodnoty d_1 a d_2 od vypočítaného průměru byla vyjádřena v procentech a stanovena podle vztahu:

$$\text{rozdíl} = \frac{|d_i - \text{průměr}_i|}{\text{průměr}_i}$$

Pro lepší přehlednost jsou výsledky shrnuty v tabulce 7.

Tabulka 7: Konzistence cementové malty rozlitím

Směs	Vzorek č.	d ₁ [mm]	d ₂ [mm]	Průměr [mm]	Rozdíl d ₁ [%]	Rozdíl d ₂ [%]
0%	1	139	145	143,5	3,1	1
	2	148	142		3,1	1
10%	1	145	152	149	2,4	2,4
	2	146	151		1,7	1,7
30%	1	145	149	144,75	0,2	2,9
	2	144	141		0,5	2,6
50%	1	139	145	146	4,5	0,3
	2	151	147		3,8	1

4.3.3 Stanovení konzistence sednutím

Stanovení konzistence sednutím bylo provedeno na základě požadavků definovaných normou ČSN 73 6127-1. Tato norma stanovuje konkrétní rozmezí konzistence cementové malty pro ŠCM. Samotný postup zkoušky odpovídá normě ČSN EN 12350-2: *Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím*.

Tato zkouška byla provedena jako primární metoda pro určení konzistence cementových směsí a zároveň sloužila jako výchozí bod pro porovnání s výsledky získanými metodou rozlitím. Paralelní provedení obou zkoušek umožnilo získání přesných dat a jejich následné vyhodnocení s ohledem na požadavky definované normou ČSN 73 6127-1.

Podrobný postup zkoušky sednutím je uveden v kapitole 2.3.2 *Stanovení konzistence sednutím*.

Během provádění zkoušky došlo k drobné odchylce od standardního postupu měření. Výška h sednutí nebyla měřena přímo, jak je zvykem, ale byla určena nepřímou – změřením výšky sednutého válce cementové malty, která byla následně odečtena od výšky formy. Tato odchylka metodiky ovšem nemá žádný vliv na přesnost ani vypovídací hodnotu výsledků.

Naměřené hodnoty konzistence sednutím, zaokrouhlené na nejbližších 10 mm, jsou shrnuty v tabulce 8.

Tabulka 8: Výsledky stanovení konzistence sednutím

Směs	výška válce [mm]	sednutí h [mm]
0%	180	120
10%	180	120
30%	170	130
50%	180	120

4.4 Shrnutí výsledků přípravy cementové malty

V úvodu kapitoly byl formulován předpoklad, že vratný prach může být využit jako náhrada kameniva při zachování standardního postupu přípravy podle normy ČSN EN 73 6121-1. Tento předpoklad byl ovšem vyvrácen. Chemické složení vratného prachu způsobilo jeho vysokou nasákavost, což si vyžádalo stanovení specifického vodního součinitele, aby bylo možné dosáhnout požadované konzistence směsi.

Při určování vodního součinitele se vycházelo z předpokladu, že jeho hodnota bude konstantní, obdobně jako u cementu. Nicméně tento předpoklad nebyl potvrzen. Z údajů uvedených v *tabulce 4: Vodní součinitel* a *grafu 1: Vodní součinitel se spojnicí trendu*, lze usuzovat, že vodní součinitel vykazuje mocninnou závislost. Pro definitivní potvrzení tohoto tvrzení však chybí dostatečné množství experimentálních dat. Nicméně lze s vysokou pravděpodobností konstatovat, že s rostoucím podílem vratného prachu vodní součinitel klesá.

Další zajímavý, ačkoliv nepůvodně zamýšlený výsledek spočívá v analýze možnosti použití požadavků na konzistenci stanovených metodou „rozlitím“ pro kamenivo stmelené popílkovou suspenzí (KAPS) i na směsi ŠCM. Tento předpoklad nebyl potvrzen, neboť směsi splnily požadavky konzistence metodou „sednutím“, avšak při hodnocení metodou „rozlitím“ dosáhly v průměru pouze 90,4 % minimální požadované konzistence pro KAPS. Tento nesoulad lze pravděpodobně přisoudit odlišným podmínkám při pokládce. Zatímco kostra ŠCM je prolévána cementovou maltou pouze do třetiny hloubky, u KAPS dochází k plnému prolití celé hloubky. Tento rozdíl však nemůže být předmětem definitivního závěru, neboť odchylky mohly být způsobeny nepřesným manuálním „střásáním“ namísto použití přísně standardizovaného postupu se střešacím stolkem.

5 ZKOUŠKA PEVNOSTI V PROSTÉM TLAKU

Stanovení pevnosti cementové malty v prostém tlaku bylo provedeno podle normy ČSN EN 12390-3: *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 3: Pevnost v prostém tlaku*, jejíž detailní popis je uveden v kapitole 2.2 *Pevnost v prostém tlaku*. Cílem zkoušky bylo ověřit vliv přídatku vratného prachu na mechanické vlastnosti cementové malty, konkrétně na její pevnost. Zkoušeny byly čtyři směsi cementových malt s různým podílem vratného prachu a frakce 0/4 z Jakubčovic.

Metodika přípravy zkušebních těles je popsána v kapitole 4 *Cementová malta pro ŠCM*. Pro každou směs byly připraveny čtyři zkušební krychle, které byly následně podrobeny zkoušce pevnosti v prostém tlaku.



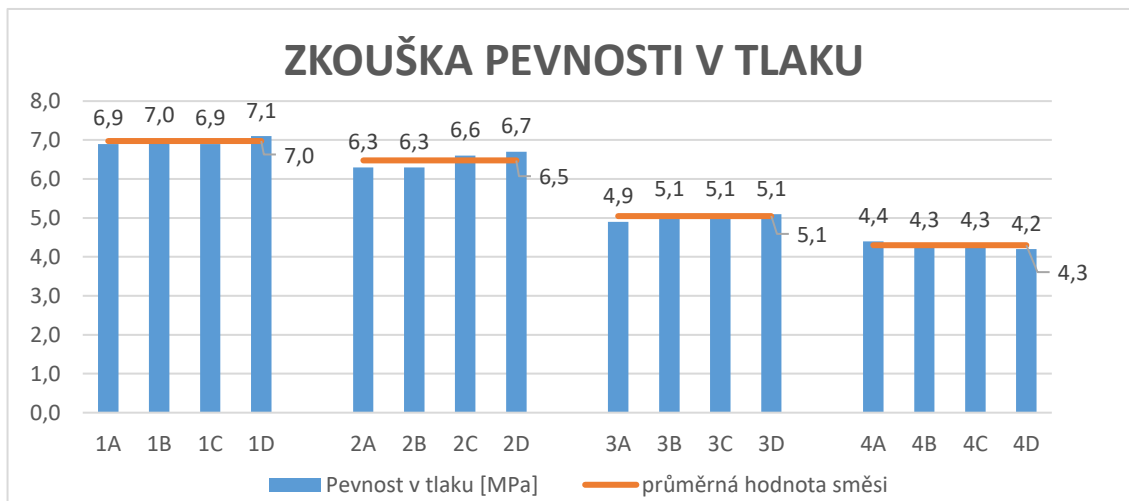
Výsledky zkoušky jsou shrnuty v následující tabulce.

Tabulka 9: Výsledky pevnosti v prostém tlaku

Označení směsi	Rozměry zkušebního tělesa [mm]	Hmotnost zkušebních těles [g]	Objemová hmotnost zkušebních těles [g/cm ³]	Maximální síla při porušení [N/mm ²]	Pevnost v tlaku [MPa]
1A	98,5 x 99 x 101	2176,3	2,21	6,7	6,9
1B	98,5 x 99,2 x 101,6	2163,6	2,179	6,8	7
1C	99 x 98,9 x 101,5	2158,7	2,172	6,7	6,9
1D	88,9 x 89 x 88,5	1522,2	2,174	5,6	7,1
PRŮMĚR 1	-	2005,2	2,184	6,5	6,98
2A	100 x 99 x 101	2025,4	2,026	6,2	6,3
2B	99,5 x 99 x 99	2034,5	2,086	6,2	6,3
2C	98,5 x 99 x 99,5	2019,9	2,082	6,4	6,6
2D	89 x 89 x 89,5	1468,9	2,072	5,3	6,7
PRŮMĚR 2	-	1887,2	2,067	6	6,48
3A	99,5 x 99,5 x 99	1893,8	1,932	4,8	4,9
3B	100,5 x 99 x 99	1914,2	1,943	5	5,1
3C	101,5 x 99 x 99	1921,7	1,932	5	5,1
3D	90 x 89 x 88,5	1370,9	1,934	4	5,1
PRŮMĚR 3	-	1775,2	1,935	4,7	5,05
4A	96 x 98,5 x 99,5	1837,2	1,953	4,2	4,4
4B	97 x 99 x 99,3	1880,8	1,972	4,1	4,3
4C	97 x 99 x 99,2	1875,2	1,969	4,1	4,3
4D	89,2 x 89,1 x 89	1380,3	1,952	3,3	4,2
PRŮMĚR 4	-	1743,4	1,962	3,9	4,3
LEGENDA:					
1 ... směs malty 100 % hm. frakce 0/4 Jakubčovice; 0% vratný prach (obalovna Pardubice)					
2 ... směs malty 90 % hm. frakce 0/4 Jakubčovice; 10% vratný prach (obalovna Pardubice)					
3 ... směs malty 70 % hm. frakce 0/4 Jakubčovice; 30% vratný prach (obalovna Pardubice)					
4 ... směs malty 50 % hm. frakce 0/4 Jakubčovice; 50% vratný prach (obalovna Pardubice)					

U všech vzorků všech směsí došlo k vyhovujícímu způsobu porušení zkušebních krychlí, proto veškeré výsledky jsou považovány za platné.

Pro lepší přehlednost a kvalitnější analýzu byl vyhotoven graf 2 s výsledky zkoušky pevnosti v tlaku:



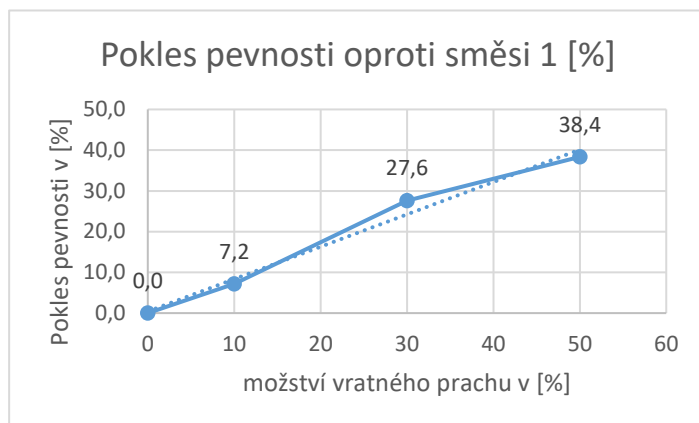
Graf 2: Výsledky zkoušky pevnosti v tlaku

5.1 Analýza výsledků

Výsledky zkoušky jednoznačně ukazují, že pevnost cementové malty v prostém tlaku klesá s rostoucím podílem vratného prachu ve směsi. Směs 1, která neobsahovala vratný prach, dosáhla průměrné pevnosti 7,0 MPa a jako jediná splňuje normou předepsanou minimální pevnost 7 MPa. Ostatní směsi s přidavkem vratného prachu nespĺnily tento požadavek, přičemž směs 4 s 50% obsahem vratného prachu vykázala nejnižší pevnost, a to 4,30 MPa.

Tabulka 10: Pokles pevnosti oproti směsi 1

Množství vratného prachu ve směsi [%]	Průměrná pevnost [MPa]	Pokles pevnosti oproti směsi 1 [%]
0	7,0	0,0
10	6,5	7,2
30	5,1	27,6
50	4,3	38,4



Graf 3: Pokles pevnosti oproti směsi 1

Tabulka 10: Pokles pevnosti oproti směsi 1 a Graf 3: Pokles pevnosti oproti směsi 1 ilustrují, že pokles pevnosti v tlaku je téměř lineární a jasně závisí na rostoucím obsahu vratného prachu ve směsi. U směsi s 10 % vratného prachu poklesla pevnost o 7,2 %, zatímco u směsi s 30% a 50% obsahem vratného prachu byl pokles pevnosti oproti referenční směsi 27,6 %, respektive 38,4 %. Tento pokles lze přičíst negativnímu vlivu jemných částic vratného prachu, které zvyšují objem pórů a narušují mikrostrukturu směsi, což vede k horším mechanickým vlastnostem.

Další důležitou skutečností je, že u všech zkušebních krychlí byl pozorován vyhovující způsob porušení, což potvrzuje správnou přípravu směsí, jejich konzistenci, soudržnost a homogenitu. Minimální rozdíly mezi vzorky v rámci jedné směsi, například u směsi 1, kde pevnost dosahovala hodnot od 6,9 MPa do 7,1 MPa, svědčí o precizním provedení zkoušek a kvalitní přípravě směsí.

Přestože směsi s přidavkem vratného prachu nesplnily požadavek na minimální pevnost, vyhovující způsob porušení ukazuje, že strukturální integrita směsí nebyla zásadně narušena. Tento poznatek naznačuje, že vratný prach může být vhodným doplňkem v aplikacích, kde není klíčová vysoká pevnost, ale je preferována ekonomická nebo ekologická udržitelnost. Případně je nutné uvažovat s optimalizací návrhu většího množství cementu nebo vyšší třídy cementu pro navrhovanou směs s vratným prachem.

5.2 Shrnutí

Zkouška pevnosti v prostém tlaku potvrdila, že přidání vratného prachu do cementové malty má negativní vliv na její mechanické vlastnosti. Směs bez vratného prachu dosáhla jako jediná normou předepsané minimální pevnosti 7 MPa, zatímco všechny ostatní směsi s obsahem vratného prachu této hodnoty nedosáhly, neboť s rostoucím obsahem vratného prachu dochází k významnému poklesu pevnosti.

Přestože směsi s vratným prachem vykazují nižší pevnost, jejich vyhovující způsob porušení naznačuje, že vratný prach nezpůsobuje zásadní zhoršení strukturální integrity směsí. Výsledky ukazují, že s optimalizací složení směsi použitím cementu vyšší třídy by mohlo být možné použít vratný prach ve specifických aplikacích, jako jsou vrstvy ŠCM. Tyto výsledky poskytují cenný základ pro další výzkum a optimalizaci složení cementových malt obsahujících vratný prach, zejména s ohledem na jeho možné využití v méně náročných stavebních aplikacích.

6 MNOŽSTVÍ VRATNÉHO PRACHU

Množství vratného prachu bylo stanoveno na dvaceti šesti frakcích kameniva, z celkem osmi různým nalezišť. Pomocí zkoušky síťového rozboru provedené dle normy ČSN EN 933-1: *Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor*. Tato metoda je detailně popsána v kapitole 2.1 *Síťový rozbor*.

Postup zkoušky byl proveden v souladu s normou s výjimkou frakcí obsahujících zrna větší než 16 mm, kde došlo k chybné zkušební navážce s nižší hmotností, než je normativně požadováno. Tato odchylka mohla způsobit snížení přesnosti výsledků. Podrobnosti o průběhu zkoušek a jednotlivých měřeních jsou uvedeny v laboratorních protokolech, které jsou součástí přílohy 4: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor.

Množství vratného prachu bylo pro jednotlivé frakce stanoveno jako množství odplavených částic ze zkoušky síťového rozboru. Hmotnost odplavených částic (M) se spočítá jako rozdíl hmotnost vysušeného vzorku kameniva před praním (M_1) po praní a vysušení, kdy zůstaly zachyceny částice na sítu s oky o velikosti 0,063 mm (M_2). Tento rozdíl (M) byl následně vyjádřen v procentech (M[%]) vůči původní navážce. Výsledky analýzy pro jednotlivé lomy jsou shrnuty v příloze č. 1: Množství odplavených částic.

Souhrnné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 11.

Tabulka 11: Množství vrtného prachu nepraného kameniva

Neprané kamenivo							
		0/4	4/8	8/11	8/16	11/22	16/32
Kobeřice	M	362,7	78		68	47,5	
	M [%]	17,863	3,865		2,604	1,793	
Kozí Vrch	M	279,3	66,2	103	48,2	39,6	
	M [%]	13,719	3,265	3,875	1,822	1,491	
Ochoz	M	248,5	32,2		32,4		
	M [%]	12,41	1,608		1,242		
Líšeň	M	X	57,1		39,3		21,71
	M [%]	X	2,723		1,505		0,82
Výkleky	M	-	24	42,9	33		
	M [%]	8,123	1,196	1,857	1,26		
Chrlíce	M	168,6	40,4	34,1	46,5	38	
	M [%]	8,131	1,999	1,25	1,713	1,439	
Průměr	M [%]	12,344	2,443	2,328	1,691	1,575	0,821

Legenda tabulky:

- M: Rozdíl M1 – M2, což představuje množství odplavenin.
- M [%]: Množství odplavenin vyjádřeno v procentech ($\% M = M/M1 \times 100$).

Hodnoty pro frakci 0/4 z kamenolomu Líšeň nebyly uváděny z důvodu neodpovídající čáre zrnitosti. Tento nesoulad byl pravděpodobně způsoben nedostatečně homogenním odběrem vzorků.

V kamenolomu Výkleky nebylo přítomno kamenivo frakce 0/4. Vzhledem k tomu, že zde byly dostupné frakce 0/2 a 2/4, byla hodnota M [%] pro frakci 0/4 stanovena jako aritmetický průměr těchto dvou frakcí. Hodnota M pro frakci 0/4 však nebyla uvedena, neboť výsledek aritmetického průměru nebyl považován za reprezentativní.

Frakce kameniva 11/16 byla zastoupena pouze v praném kamenivu z obalovny Jakubčovice, které sloužilo jako výchozí vzorek pro srovnání. Proto byla hodnota odplavenin, vyjádřená v procentech, pro frakci 8/16 vypočtena jako aritmetický průměr hodnot M [%] pro frakce 8/11 a 11/16.

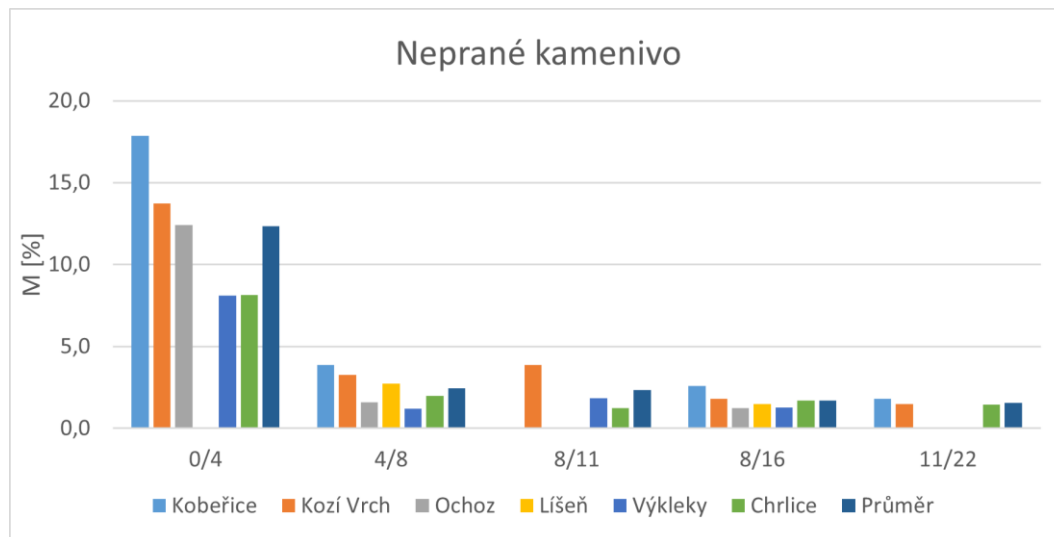
Tabulka 12: Množství vratného prachu nepraného kameniva

7	Prané kamenivo z obalovny Jakubčovice				
	0/4	4/8	8/11	11/16	8/16
M	67,5	21,5	25,22	17,55	-
M [%]	3,298	1,053	0,931	0,66	0,796

6.1 Interpretace výsledků množství vratného prachu

Následující podkapitoly analyzují výsledky z nepraného a praného kameniva a porovnávají jejich vlastnosti a efektivitu praní.

6.1.1 Neprané kamenivo



Graf 4: Množství vratného prachu nepraného kameniva

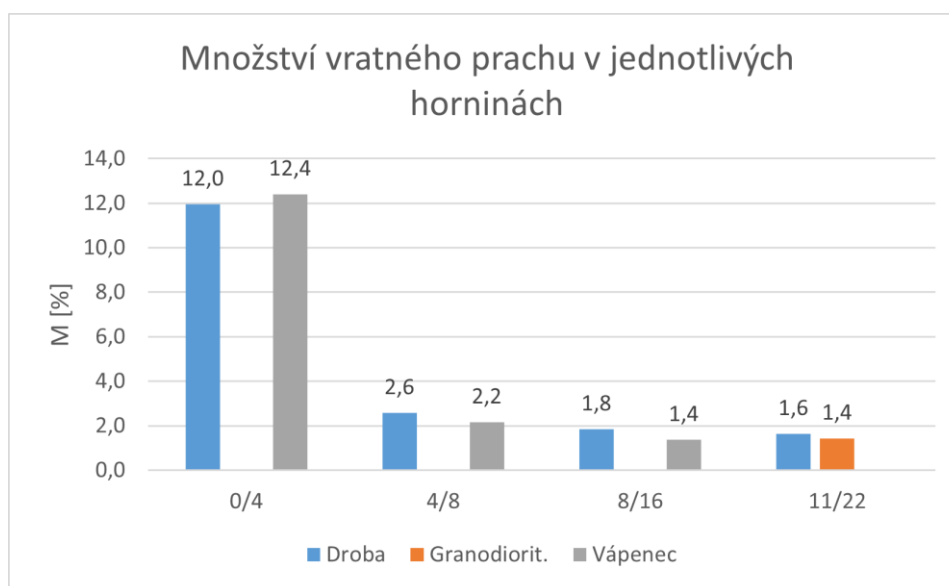
Z výsledků nepraného kameniva jednoznačně vyplývá, že největší množství vratného prachu je přítomno ve frakci 0/4, a to více než pětinasobně oproti frakci 4/8, která vykazuje druhé nejvyšší zastoupení vratného prachu. Tento výsledek vyplývá z podstaty frakce, neboť proces drcení kameniva generuje jemné částice, které se koncentrují právě ve frakci 0/4.

Dále je z výsledků patrné, že průměrné procentuální množství vratného prachu klesá s rostoucí velikostí frakce. Tento trend je způsoben zmenšující se specifickou plochou větších zrn kameniva, na kterou se prachové částice mohou uchytit.

Celkové množství vratného prachu v úzkých frakcích kameniva o velikosti zrn v rozmezí 4 mm až 22 mm se pohybuje mezi 1,5 % a 4 % v závislosti na lomu a velikosti frakce.

Tabulka 13: Množství vratného prachu v jednotlivých horninách

	0/4 [%]	4/8 [%]	8/11 [%]	8/16 [%]	11/22 [%]
Droba [%]	11,959	2,581	2,327	1,85	1,642
Granodiorit [%]	-	-	-	-	1,439
Vápenec [%]	12,41	2,166	-	1,374	-



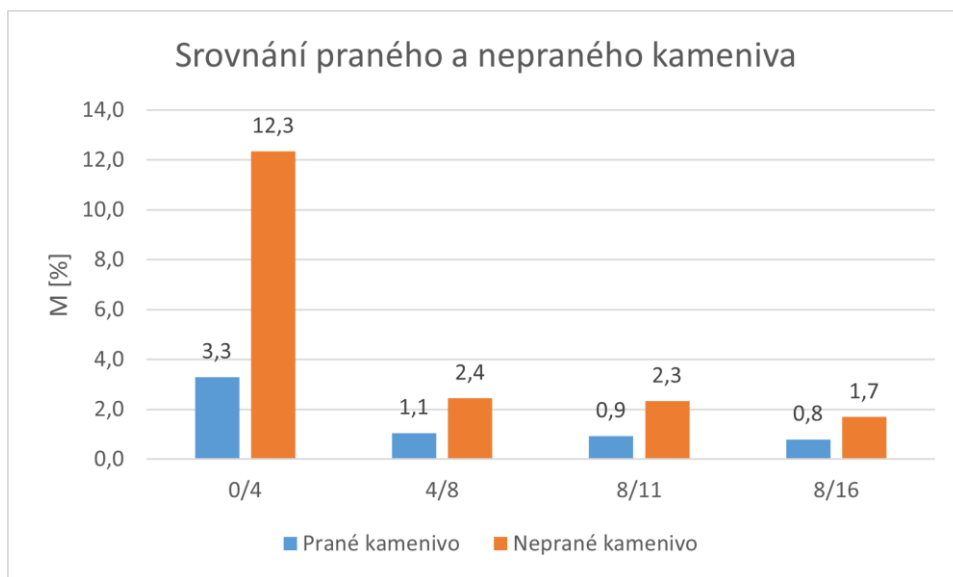
Graf 5: Množství vratného prachu v jednotlivých horninách

Druh těžené horniny se podle výsledků nejeví jako faktor ovlivňující množství vratného prachu, avšak dostupná data nejsou dostatečná pro jednoznačný závěr.

6.2 Srovnání s praným kamenivem

Tabulka 14: M [%] pro prané a neprané kamenivo

	0/4 [%]	4/8 [%]	8/11 [%]	8/16 [%]
Prané kamenivo	3,298	1,053	0,931	0,796
Neprané kamenivo	12,344	2,443	2,328	1,691

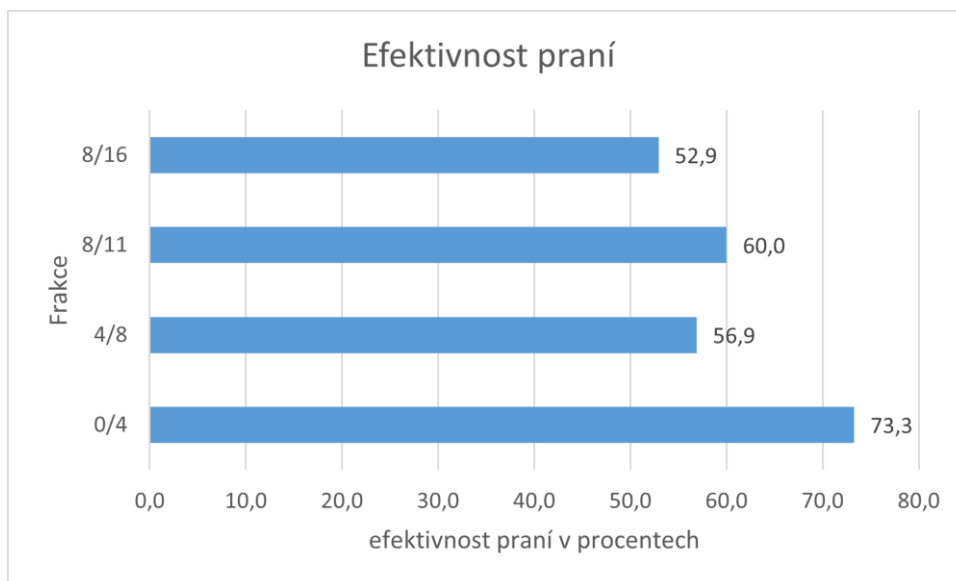


Graf 6: Srovnání praného a nepraného kameniva

Z výsledků je zřejmé, že u praného kameniva je, podobně jako u nepraného, největší zastoupení vratného prachu ve frakci 0/4. S rostoucí velikostí frakce procentuální zastoupení vratného prachu výrazně klesá. Nicméně rozdíl mezi frakcemi 0/4 a 4/8 je v případě praného kameniva pouze trojnásobný, zatímco u nepraného kameniva přesahuje tento poměr pětinašobek.

Tabulka 15: Efektivita praní kameniva

	0/4 [%]	4/8 [%]	8/11 [%]	8/16 [%]
<i>Prané kamenivo</i>	3,298	1,053	0,931	0,796
<i>Neprané kamenivo</i>	12,344	2,443	2,328	1,691
efektivnost praní	73,3	56,9	60	52,9



Graf 7: Efektivnost praní kameniva

Praní kameniva se ukázalo jako vysoce účinné zejména u jemnějších frakcí (0/4), kde odstranilo více než 70 % vratného prachu. U větších frakcí (4/8, 8/11, 8/16) byla efektivita praní nižší, ale stále významná (v rozmezí 50–60 %). Výsledky naznačují, že praní je vhodnou technologií pro odstranění jemných částic vratného prachu z kameniva.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce měla za cíl stanovit množství vratného prachu v úzkých frakcích kameniva využívaných při výrobě asfaltových a nestmelených směsí a následně analyzovat možnosti jeho aplikace v cementové maltě určené pro prolití vrstev částečně zpevněných cementovou maltou (ŠCM).

Obsah vratného prachu byl zjištěn prostřednictvím zkoušky síťového rozboru na dvaceti šesti frakcích kameniva pocházejících z pěti lomů a dvou obaloven. Zatímco kamenivo z lomů a obalovny Chrlice bylo neprané, kamenivo z obalovny Jakubčovice prošlo procesem praní. Výsledky prokázaly, že nejvyšší obsah vratného prachu se nachází ve frakci 0/4, kde u nepraného kameniva tvořil průměrně 12,3 % hmotnosti, zatímco u praného kameniva to bylo 3,3 % hmotnosti. U větších frakcí (4 mm až 22 mm) se množství vratného prachu u nepraného kameniva pohybovalo mezi 2,4 % a 1,6 %, zatímco u praného kameniva, frakcí 4 mm až 16 mm, se pohybovala mezi 1,1 % a 0,7 %. Z těchto údajů plyne, že vratný prach se koncentruje především v jemných frakcích, což odpovídá výrobním procesům.

Efektivita praní kameniva byla nejvyšší u frakce 0/4, kde dosahovala více než 73 %, zatímco u větších frakcí se pohybovala v rozmezí 50–60 %. Praní se tak ukázalo jako vysoce účinná metoda odstraňování vratného prachu, zejména u jemných frakcí. Bylo doporučeno pokračovat v tomto procesu a případně jej dále optimalizovat, například využitím vysokotlakých trysek.

Zkoušky pevnosti v prostém tlaku ukázaly, že přídavek vratného prachu má negativní vliv na mechanické vlastnosti cementové malty. Směs bez vratného prachu dosáhla průměrné pevnosti 7,0 MPa a jako jediná splnila normový požadavek minimální pevnosti 7 MPa. U směsí s obsahem vratného prachu pevnost lineárně klesala s rostoucím podílem prachu, přičemž směs s 50% obsahem dosáhla pouze 4,30 MPa, což představuje přibližně 60 % pevnosti referenční směsi.

Přestože směsi s vyšším obsahem vratného prachu nesplnily požadované pevnostní parametry, vyhovující způsob porušení všech zkušebních těles potvrzuje správnou technologickou přípravu a soudržnost směsí. Tyto výsledky naznačují, že směsi obsahující vratný prach mohou být využity ve vrstvách ŠCM za předpokladu optimalizace návrhu směsi, například zvýšením obsahu cementu nebo použitím kvalitnějších cementů.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] STEHLÍK, Dušan a Vojtěch ROUS. 2017. *Technologická příručka staveb účelových komunikací*. Lesy ČR, s.p.
- [2] ČSN 73 6127-1: *Stavba vozovek – Prolévané vrstvy - Část 1: Vrstva ze šterku částečně vyplněného cementovou maltou*. Český normalizační institut, 2008.
- [3] Zákon o odpadech č. 541/2020 Sb. In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2020. ISSN 1211-124.
- [4] HEIDELBERG MATERIALS. *Kamenolom Luleč* [online]. Dostupné z: www.heidelbergcement.cz/cs/kontakty/cms/provozovny/lulec
- [5] KAMARA, Kande Bure Bai, Eshmaiel GANJIAN a Morteza KHORAMI. 2020. *The effect of quarry waste dust and reclaimed asphalt filler in hydraulically bound mixtures containing plasterboard gypsum and GGBS* [online]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123584>
- [6] MONDAL, Abhijit, R. N. G. D. RANSINCHUNG a Jayvant CHOUDHARY. 2022. *Sustainable recycling of industrial waste fillers and reclaimed asphalt pavement to produce environmentally feasible warm mix asphalt* [online]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s41062-022-01006-4>
- [7] JIRÁSEK, Jakub a Martin VAVRO. 2008. *Nerostné suroviny a jejich využití* [online]. Ostrava. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/kamenivo.html>
- [8] SVAZ VÝROBCŮ BETONU ČR. 2021. *EBETON* [online]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/kamenivo>
- [9] LAGOWSKI, Jaroslaw a Daniel SARAMAK. 2016. Improving gravel and crushed aggregates washing technology efficiency through application of high pressure washer. *E3S Web of Conferences* [online]. 8(01041), 3. Dostupné z: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20160801041>
- [10] HIGH, Duncan. *Save Water When Washing Aggregate* [online]. Dostupné z: <https://theasphaltpro.com/articles/save-water-when-washing-aggregate/>
- [11] DSP PŘEROV, SPOL. S R.O. 2022. *Pračky kameniva* [online]. Dostupné z: <https://www.dspprerov.cz/pracky-kameniva-3/>

- [12] PRO SAND ENGINEERING S.R.O. 2021. *Stroje na úpravu kameniva* [online]. Dostupné z: <https://prosand.cz/stroje/stroje-na-upravu-kameniva/nozova-pracka>
- [13] CHESNER, W. H., R. J. COLLINS a M. H. MACKAY. 1998. User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction. *Federal Highway Administration Research and Technology* [online]. USA, , 683 Dostupné z: <https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/38365>.
- [14] SUCHÁNEK, Vladimír. 2011. *Objemové hmotnosti vybraných materiálů*. Univerzita Pardubice, Doprovodná fakulta Jana Pernera.
- [15] WILANOWICZ, J., et al. 2013. Assessment of the Suitability of Baghouse Dusts from a Dust Extractor as Fillers for Hot-Mix Asphalt. *Procedia Engineering* [online],, 1269-1277. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.160>.
- [16] AYAWANNA,, J., et al. 2024. The use of asphalt waste dust for stabilization of sustainable pavement recycling. *Construction and Building Materials* [online]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137936>
- [17] *The Importance of the Baghouse* [online]. Dostupné z: <https://www.astecindustries.com/about/case-studies/study/the-importance-of-the-baghouse>
- [18] *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší*. 2012.
- [19] Vyhláška č. 452/2017 Sb. 2017. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Částka 161.
- [20] *Stavební pojiva anorganická* [online]. ČVUT Fakulta stavební. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20130720024217/http://tpm.fsv.cvut.cz/vyuka/ychs/prednIV.pdf>
- [21] ČSN EN 933-1: *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [22] Petr Spáčil *Studené asfaltové směsi*. Brno, 2022. 61 s. *Bakalářská práce*. *Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací*. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Dašek, Ph.D.

- [23] ČSN EN 12390-3: *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3 Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [24] ČSN EN 12390-2: *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [25] ČSN EN 12390-1: *Zkoušení čerstvého betonu - Část 1: Odběr vzorků a zkušební zařízení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [26] BIRNBAUMOVÁ, Marie. 2008. *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací: Kapitola 5 Podkladní vrstvy*. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury.
- [27] Nařízení vlády č. 353/2002 Sb.
- [28] ČSN EN 1015-3: *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím strásacího stolku)*. Český normalizační institut, 2000.
- [29] ČSN 73 6127-4: *Stavba vozovek - Prolévané vrstvy - Část 4: Kamenivo zpevněné popílkovou suspenzí*. Český normalizační institut. 2008.
- [30] ČSN EN 12350-2: *Zkoušení čerstvého betonu - Část 2 Zkouška sednutím*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [31] ČSN EN 197-1 ed. 2: *Cement. Část 1, Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [32] ČSN P 73 2404: *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Doplňující informace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2024.
- [33] SVAZ VÝROBCŮ BETONU ČR. 2021. *EBETON* [online]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/konzistence-betonu/>
- [34] ČSN EN 206+A2: *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. 2021



- [35] ČSN 73 6114: *Vozovky pozemních komunikací. Základní ustanovení pro navrhování*. Český normalizační institut. 1995.
- [36] doc. Ing. Petr Hýzl, Ph.D. *Výroba, pokládka a hutnění asfaltových směsí*. Brno: autor neznámý, 2023.
- [37] SVOBODA, Luboš. 2007. *Stavební hmoty*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Bratislava: Jaga. ISBN 978-80-8076-057-1.

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma šaržové obalovny [36]	14
Obrázek 2: Frakce drceného kameniva [4]	15
Obrázek 3: Čelistový drtič [7]	16
Obrázek 4: Nožová pračka [11]	17
Obrázek 5: Hotová vrstva z ŠCM [1]	25
Obrázek 6: Praní kameniva	27
Obrázek 7: Sušení kameniva	27
Obrázek 8: Sloupec sít	28
Obrázek 9: Zachycené množství	29
Obrázek 10: Ošetření formy separačním prostředkem	32
Obrázek 11: Vzorek pro zarovnání porchu	33
Obrázek 12: Ruční zhutnění	33
Obrázek 13: Nařezané a označené vzorky	34
Obrázek 14: Umístění vzorku do lisu	35
Obrázek 15: Porušení vzorku	35
Obrázek 16: Vyhovující způsoby porušení zkušebních krychlí [24]	36
Obrázek 17: Některé nevhovující způsoby porušení zkušebních krychlí [24]	36
Obrázek 18: Zkušební kužel	38
Obrázek 19: Odstranění přebytečné malty	39
Obrázek 20: Malta před ručním střešením	40
Obrázek 21: Malta po ručním střešení	40
Obrázek 22: Měření konzistence rozlíváním	40
Obrázek 23: Měření rozlívání [28]	41
Obrázek 24: Zkušební pomůcky	43
Obrázek 25: Hutnění zkušebního vzorku	44
Obrázek 26: Zvednutí kužele	45
Obrázek 27: Sednutí zkušebního vzorku	45
Obrázek 28: Měření sednutí kužele [30]	45



Obrázek 29: Výsledné tvary sednutí [30]	46
Obrázek 30: Jakubčovice frakce 4/8	48
Obrázek 31: Jakubčovice frakce 0/4	48
Obrázek 32: Výkleky	49
Obrázek 33: Lhota Rapotina	50
Obrázek 34: Luleč.....	51
Obrázek 35: Kobeřice	51
Obrázek 36: Kozí vrch	52
Obrázek 37: Ochoz	52
Obrázek 38: Líšeň.....	53
Obrázek 39: Vratný prach.....	54
Obrázek 40: Cement	54
Obrázek 41: Konzistence malty dle tabulky 3	58
Obrázek 42: Přidání přesného množství vody	59
Obrázek 43: Konzistence malty dle tabulky 5	61
Obrázek 44: Ruční střešení cementové malty.....	66



9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Klasifikace konzistence [34]	19
Tabulka 2: Emisní limity pro obalovny živičných směsí [19].....	22
Tabulka 3: Návrh receptury cementových směsí.....	57
Tabulka 4: Vodní součinitel.....	59
Tabulka 5: Nový návrh receptury cementových směsí.....	60
Tabulka 6: Receptura cementových směsí pro stanovení konzistence	64
Tabulka 7: Konzistence cementové malty rozlitím	67
Tabulka 8: Výsledky stanovení konzistence sednutím.....	68
Tabulka 9: Výsledky pevnosti v prostém tlaku	70
Tabulka 10: Pokles pevnosti oproti směsi 1	71
Tabulka 11: Množství vrtného prachu nepraného kameniva.....	74
Tabulka 12: Množství vratného prachu nepraného kameniva	75
Tabulka 13: Množství vratného prachu v jednotlivých horninách	77
Tabulka 14: M [%] pro prané a nepraní kamenivo	77
Tabulka 15: Efektivita praní kameniva.....	78



10 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Vodní součinitel se spojnicí trendu	60
Graf 2: Výsledky zkoušky pevnosti v tlaku.....	71
Graf 3: Pokles pevnosti oproti směsi 1	72
Graf 4: Množství vratného prachu nepraného kameniva.....	76
Graf 5: Množství vratného prachu v jednotlivých horninách.....	77
Graf 6: Srovnání praného a nepraného kameniva.....	78
Graf 7: Efektivnost praní kameniva.....	79



11 SEZNAM ZKRATEK

°C	stupeň Celsia
CEM	cement
CO ₂	oxid uhličitý
ČSN	Česká technická norma
ČSN EN	Česká technická norma zavádějící evropskou normu
h	výška
K	Kelvin
KAPS	kamenivo stmelené popílkovou suspenzí
kg	kilogram
kPa	kilopascal
l	litr
m ³	metr krychlový
mg/m ³	miligram na metr krychlový
mm	milimetr
mm ²	milimetr čtverečný
MPa	megapascal
s	sekunda
ŠCM	šterk částečně vyplněný cementovou maltou
tj.	to jest
TZL	tuhé znečišťující látky



12 PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Množství odplavených částic

1	Kobeřice			
	11/22	8/16	4/8	4/0
M_1	2645,8	2610,9	2018,3	2030,5
M_2	2598,3	2542,9	1940,3	1667,8
$M=M_1-M_2$	47,5	68	78	362,7
M [%]	1,793	2,604	3,865	17,863

2	Kozí Vrch				
	0/4	11/22	8/16	8/11	4/8
M_1	2035,9	2658,9	2647,6	2656,9	2027,4
M_2	1756,6	2619,2	2599,4	2554	1961,2
$M=M_1-M_2$	279,3	39,6	48,2	103	66,2
M [%]	13,719	1,491	1,822	3,875	3,265

3	Ochoz		
	4/8	0/4	8/16
M_1	2002,5	2002,4	2605,9
M_2	1970,3	1753,9	2573,5
$M=M_1-M_2$	32,2	248,5	32,4
M [%]	1,608	12,41	1,242

4	Líšeň			
	4/8	8/16	16/32	0/4
M_1	2097,3	2608,2	2643,3	2055,2
M_2	2040,2	2568,9	2621,6	1993,4
$M=M_1-M_2$	57,1	39,3	21,7	X
M [%]	2,723	1,505	0,821	X



5	Výkleky				
	8/16	8/11	4/8	2/4	0/2
M₁	2620,7	2311,9	2007,1	2003	2010,6
M₂	2587,7	2268,9	1983,1	1943,9	1743,3
M=M₁-M₂	33	42,9	24	59,1	267,3
M [%]	1,26	1,857	1,196	2,951	13,295

6	Chrlice				
	11/22	8/16	8/11	4/8	0/4
M₁	2637,8	2717,5	2723,8	2020,9	2073,5
M₂	2599,9	2671	2689,7	1980,5	1904,9
M=M₁-M₂	38	46,5	34,1	40,4	168,6
M [%]	1,439	1,713	1,25	1,999	8,131

7	Prané kamenivo z obalovny Jakubčovice			
	0/4	4/8	8/11	11/16
M₁	2047	2041,1	2709,3	2658,5
M₂	1979,5	2019,6	2684,1	2641
M=M₁-M₂	67,5	21,5	25,2	17,5
M [%]	3,298	1,053	0,931	0,66

LEGENDA:

- **M₁**: hmotnost vysušeného vzorku kameniva před praním.
- **M₂**: hmotnost vysušeného vzorku po praní, zachyceného na síť 0,063 mm.
- **M**: rozdíl M₁ – M₂, což představuje množství odplavenin.
- **M [%]**: množství odplavenin vyjádřeno v procentech $M = \frac{M}{M_1} \times 100$.



Příloha č. 2: výpočet receptury cementové malty

a. Stanovení objemu formy

Objem formy je počítán pomocí vztahu:

Objem kvádrů (forma)

$$V = a * b * c$$

Kde:

- V objem [m³]
- a,b,c délky jednotlivých stran [m]

Rozměry formy jsou:

- a 402 mm = 0,402 m
- b 100 mm = 0,1 m
- c 100 mm = 0,1 m

Vypočítaný objem formy:

$$V = 0,402 \cdot 0,1 \cdot 0,1 = 0,00402 \text{ m}^3 = \underline{\underline{4,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3}}$$

b. Stanovení hmotnosti cementové malty

hmotnost cementové malty je vypočítána pomocí vztahu:

Hmotnost cementové malty ve formě

$$m = V * \rho$$

Kde:

- m hmotnost [kg]
- V objem [m³]
- ρ objemová hmotnost [kg/ m³]

Pro výpočet je použita objemová hmotnost cementové malty: $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$

Vypočítaná hmotnost cementové malty:

$$m = 0,00402 \cdot 2100 = \underline{\underline{8,442 \text{ kg}}}$$



Pro zajištění dostatečného množství cementové malty je výsledek přepočítán koeficientem 1,1 a následná výpočet zaokrouhlen směrem na stranu bezpečnou.

$$m = 8,442 \cdot 1,1 = 9,286 \cong \underline{\underline{9,5 \text{ kg}}}$$

c. Výpočet receptury cementových směsí

Poměrné zastoupení ve směsi

- (prach + kamenivo) : cement = (5 až 8) : 1

Bylo rozhodnuto že poměr bude 6 : 1

- cement : voda = 2 : 1

Z toho je vypočítáno celkové poměrné zastoupení

- (prach + kamenivo) : cement : voda = 12 : 2 : 1

Zastoupení prachu v plnivové části směsi

- i) 0 %
- ii) 10 %
- iii) 30 %
- iv) 50 %

Výpočet proběhne pomocí přepočtu na dílce zastoupené ve směsi.

Z poměru 12 : 2 : 1 vyplívá výpočet počtu dílců:

$$12+2+1=15$$

Hmotnost jednotlivých prvků je následně vypočítána:

$$\frac{m}{15} \cdot \text{počet dílců pro jednotlivý prvek}$$

Hmotnostní zastoupení jednotlivých prvků směsi:

- Plnivová složka směsi: 12 dílců $\rightarrow 9,5/15 \cdot 12 = 7,6 \text{ kg}$
- Pojivová složka směsi: 2 dílce $\rightarrow 9,5/15 \cdot 2 = 1,267 \text{ kg}$
- Voda: 1 dílec $\rightarrow 9,5/15 \cdot 1 = 0,633 \text{ kg}$

Hmotnostní zastoupení plnivové složky směsi

- Prach 0 %



- Prach 0 % = $7,6/100 \cdot 0 = 0 \text{ kg} = 0 \text{ g}$
- Kámen 100 % = $7,6/100 \cdot 100 = 7,6 \text{ kg} = 7600 \text{ g}$
- Prach 10 %
 - Prach 10 % = $7,6/100 \cdot 10 = 0,76 \text{ kg} = 760 \text{ g}$
 - Kámen 90 % = $7,6/100 \cdot 90 = 6,84 \text{ kg} = 6840 \text{ g}$
- Prach 30 %
 - Prach 30 % = $7,6/100 \cdot 30 = 2,28 \text{ kg} = 2280 \text{ g}$
 - Kámen 70 % = $7,6/100 \cdot 70 = 5,32 \text{ kg} = 5320 \text{ g}$
- Prach 50 %
 - Prach 50 % = $7,6/100 \cdot 50 = 3,8 \text{ kg} = 3800 \text{ g}$
 - Kámen 50 % = $7,6/100 \cdot 50 = 3,8 \text{ kg} = 3800 \text{ g}$

Z těchto výsledků je následně sestavena přehledná tabulka se hmotnostním zastoupením jednotlivých prvků.

prvek	0 % prachu		10 % prachu		30 % prachu		50 % prachu	
	poč. dílů	[g]	poč. dílů	[g]	poč. dílů	[g]	poč. dílů	[g]
prach	0	0	1,2	760	3,6	2280	6	3800
kámen	12	7600	10,8	6840	8,4	5320	6	3800
cement	2	1267	2	1267	2	1267	2	1267
voda	1	633	1	633	1	633	1	633
celkem	15	9500	15	9500	15	9500	15	9500



Příloha č. 3: Stanovení vodního součinitele

Vodní součinitel je stanoven experimentálně na základě vizuální kontroly a je získán z přepočtu poměru prach : voda.

Na počátku se určí vhodný vodní poměr. Ten propočítán na množství vody pomocí vztahu:

Množství přidané vody

$$w = c \cdot \frac{1}{X} \text{ [g]}$$

Kde:

w hmotnost vody

c hmotnost vratného prachu

$\frac{1}{X}$ určený poměr 1 : x

Následně se přidá spočítané množství voda a vyhodnotí vhodnost konzistence cementové malty. Pokud malta vyhoví konzistenci, určí se této poměr za výsledný a přepočte se na vodní součinitel pomocí vztahu:

Vodní součinitel pro navrženou maltu

$$\text{Vodní součinitel} = \frac{w}{c}$$

Kde:

w hmotnost vody

c hmotnost vratného prachu

Jestliže je konzistence cementové malty nižší, je třeba určit nový poměr a zkoušku opakovat do doby, než je stanoven výsledný poměr. Při stanovení nového poměru a jeho přepočtení na množství vody je třeba vypočítat nově přidané množství vody, a to ze vztahu:

Nově přidané množství vody

$$w_{i+1.1} = w_{i+1} - w_i$$



Kde:

$w_{i+1.1}$ nově přidané množství vody,

w_{i+1} celkové množství vody určené novým poměrem

w_{i+1} celkové množství vody určené předchozím poměrem

Jestliže je výsledná konzistence cementové malty vyšší, je třeba vzorek malty odstranit. Následně je nutné zkoušku opakovat s novým vzorkem a určit nový (větší) poměr.

Stanovení vhodného vodního součinitele se zabývá pouze pro cementové malty v přidaném obsahem vratného prachu.

a. Vstupní podmínky:

Stanovením prvotních směsí se zabývá příloha č. 1 této diplomové práce.

- Plnivo:
 - Směs s obsahem 10 % vratného prachu.
 - Kámen: 6 840 g
 - Vratný prach: 760 g
 - Směs s obsahem 30 % vratného prachu.
 - Kámen: 5 320 g
 - Vratný prach: 2 280 g
 - Směs s obsahem 50 % vratného prachu.
 - Kámen: 3 800 g
 - Vratný prach: 3 800 g
- Pojivo:
 - Cement: 1 267 g
- Voda
 - Voda: 633 g = 0,633 l



b. Výpočet vodního koeficientu

Směs s 10 % vratného prachu

Tato směs byla navážena a zkoušena celkem dvakrát, neboť prvotní směs neodpovídala stanovenému složení s 10 % vratného prachu v plnivové složce ale 10% vrtného prachu z celé směsi. Výsledný poměr voda : prach předešlé směsi odpovídal 1 :

1. Proto je určen počáteční poměr voda : prach jako 1 : 2.

Poměr 1 : 2:

- Prach 760 g
- Voda: $w_1 = c \cdot \frac{1}{2} = 760 \cdot \frac{1}{2} = 380 \text{ g} = 0,380 \text{ l}$

Tento poměr **nevyhovuje** správné konzistenci malty. Proto byl určen nový poměr 1 : 1,5.

Poměr 1 : 1,5

- Prach: 760 g
- Voda: $w_2 = c \cdot \frac{1}{1,5} = 760 \cdot \frac{1}{1,5} = 506,7 \text{ g} = 0,507 \text{ l}$

$$w_{2,1} = w_2 - w_1 = 506,7 - 380 = 126,7 \text{ g} = 0,127 \text{ l}$$

Tento poměr **nevyhovuje** správné konzistenci malty. Proto byl určen nový poměr 1 : 1.

Poměr 1 : 1

- Prach: 760 g
- Voda: $w_3 = c \cdot \frac{1}{1,5} = 760 \cdot \frac{1}{1} = 760 \text{ g} = 0,760 \text{ l}$

$$w_{3,1} = w_3 - w_2 = 760 - 506,7 = 253,3 \text{ g} = 0,253 \text{ l}$$

Tento poměr **nevyhovuje** správné konzistenci malty. Proto byl určen nový poměr 1 : 0,9.



Poměr 1 : 0,9

- Prach: 760 g
- Voda: $w_4 = c \cdot \frac{1}{0,9} = 760 \cdot \frac{1}{0,9} = 844,4 \text{ g} = 0,844 \text{ l}$

$$w_{4.1} = w_4 - w_3 = 844,4 - 760 = 84,4 \text{ g} = 0,084 \text{ l}$$

Tento poměr **vyhovuje** správné konzistenci malty.

Přepočítání na vodní součinitel

$$\text{Vodní součinitel} = \frac{w}{c} = \frac{844,4}{760} = 1,111$$

Výsledný vodní součinitel pro směs s 10 % vratného prachu v pojivové složce činí **1,111**.

Směs s 30 % vratného prachu

Pro směs s 30 % vratného prachu v pojivové složce se předpokládá podobný vodní součinitel. Proto je počáteční poměr prach : voda určen poměrem 1 : 2

Poměr 1 : 2:

- Prach 2 280 g
- Voda: $w_1 = c \cdot \frac{1}{2} = 2 280 \cdot \frac{1}{2} = 1 140 \text{ g} = 1,14 \text{ l}$

Tento poměr **nevyhovuje** správné konzistenci malty. Proto byl určen nový poměr 1 : 1,9.

Poměr 1 : 1,9

- Prach: 2 280 g
- Voda: $w_2 = c \cdot \frac{1}{1,9} = 2 280 \cdot \frac{1}{1,9} = 1 200 \text{ g} = 1,2 \text{ l}$

$$w_{2.1} = w_2 - w_1 = 1 200 - 1 140 = 60 \text{ g} = 0,06 \text{ l}$$

Tento poměr **vyhovuje** správné konzistenci malty.



Přepočet na vodní součinitel

$$\text{Vodní součinitel} = \frac{w}{c} = \frac{1\,200}{2\,280} = 0,526$$

Výsledný vodní součinitel pro směs s 30 % vratného prachu v pojivové složce činí **0,526**.

Směs s 50 % vratného prachu

S ohledem na zásadní snížení vodního součinitele u směsi s 30 % vratného prachu v pojivové složce oproti směsi s 10 %, a to téměř na polovinu, byl určen počáteční poměr : voda prach jako 1 : 4.

FAKULTA STAVEBNÍ VUT V BRNĚ

Poměr 1 : 4:

- Prach 3 800 g
- Voda: $w_1 = c \cdot \frac{1}{4} = 3\,800 \cdot \frac{1}{4} = 950\text{ g} = 0,95\text{ l}$

Tento poměr **nevyhovuje** správné konzistenci malty. Proto byl určen nový poměr 1 : 3.

Poměr 1 : 3

- Prach: 3800 g
- Voda: $w_2 = c \cdot \frac{1}{3} = 3\,800 \cdot \frac{1}{3} = 1\,266,7\text{ g} = 1,267\text{ l}$

$$w_{2,1} = w_2 - w_1 = 1\,266,7 - 950 = 316,7\text{ g} = 0,367\text{ l}$$

Tento poměr **nevyhovuje** správné konzistenci malty. Proto byl určen nový poměr 1 : 2,5.

Poměr 1 : 2,5

- Prach: 3800 g
- Voda: $w_3 = c \cdot \frac{1}{2,5} = 3\,800 \cdot \frac{1}{2,5} = 1\,520\text{ g} = 1,52\text{ l}$



$$w_{3,1} = w_3 - w_2 = 1520 - 1\,266,7 = 253,3 \text{ g} = 0,253 \text{ l}$$

Tento poměr **nevyhovuje** správné konzistenci malty. Proto byl určen nový poměr 1 : 2,4.

Poměr 1 : 2,4

- Prach: 3800 g
- Voda: $w_4 = c \cdot \frac{1}{2,4} = 3\,800 \cdot \frac{1}{2,4} = 1\,583,3 \text{ g} = 1,583 \text{ l}$

$$w_{4,1} = w_4 - w_3 = 1583,3 - 1\,520 = 63,3 \text{ g} = 0,063 \text{ l}$$

Tento poměr **vyhovuje** správné konzistenci malty.

Přepočít na vodní součinitel

$$\text{Vodní součinitel} = \frac{w}{c} = \frac{1583,3}{3\,800} = 0,417$$

Výsledný vodní součinitel pro směs s 50 % vratného prachu v pojivové složce činí **0,417**.

c. Výsledky

vratný prach [%]	poměr prach : voda	vodní součinitel
0	-	-
10	0,9 : 1	1,111
30	1,9 : 1	0,526
50	2,4 : 1	0,417



Příloha č. 4: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor



ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Místo odběru: Kobeřice

Datum zkoušky: 27.11.2024

Identifikace laboratoře: FAST PKO

Datum odběru: 27.11.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr

Poznámky:

Velikost Síta	Frakce 11/22			Frakce 8/16			Frakce 4/8			Frakce 0/4		
	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu
[mm]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]
125,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
63,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
45,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
31,500	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
22,400	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
16,000	1442,4	55,56	44,4	5,1	0,20	99,8	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
11,200	1120,9	98,73	1,3	1163,0	45,94	54,1	4,0	0,21	99,8	0,0	0,00	100,0
8,000	23,4	99,63	0,4	1050,1	87,25	12,8	224,8	11,79	88,2	1,0	0,06	99,9
5,600	0,4	99,64	0,4	286,5	98,52	1,5	1162,7	71,73	28,3	2,1	0,19	99,8
4,000	0,3	99,65	0,3	16,1	99,15	0,8	478,2	96,38	3,6	109,1	6,73	93,3
2,000	0,5	99,67	0,3	4,0	99,31	0,7	38,3	98,35	1,6	464,9	34,60	65,4
1,000	0,0	99,67	0,3	3,4	99,44	0,6	1,2	98,41	1,6	350,9	55,65	44,4
0,500	0,4	99,69	0,3	2,2	99,53	0,5	1,5	98,49	1,5	239,5	70,01	30,0
0,250	1,2	99,73	0,3	2,7	99,64	0,4	4,3	98,71	1,3	204,7	82,28	17,7
0,125	2,6	99,83	0,2	3,8	99,79	0,2	10,2	99,24	0,8	166,5	92,26	7,7
0,063	3,8	99,98	0,0	4,9	99,98	0,0	12,9	99,90	0,1	117,2	99,29	0,7
dno	0,5	100,00	0,0	0,5	100,00	0,0	1,9	100,00	0,0	11,8	100,00	0,0
SUMA	2596,2			2542,4			1940,0			1667,7		



ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Identifikace laboratoře: FAST PKO

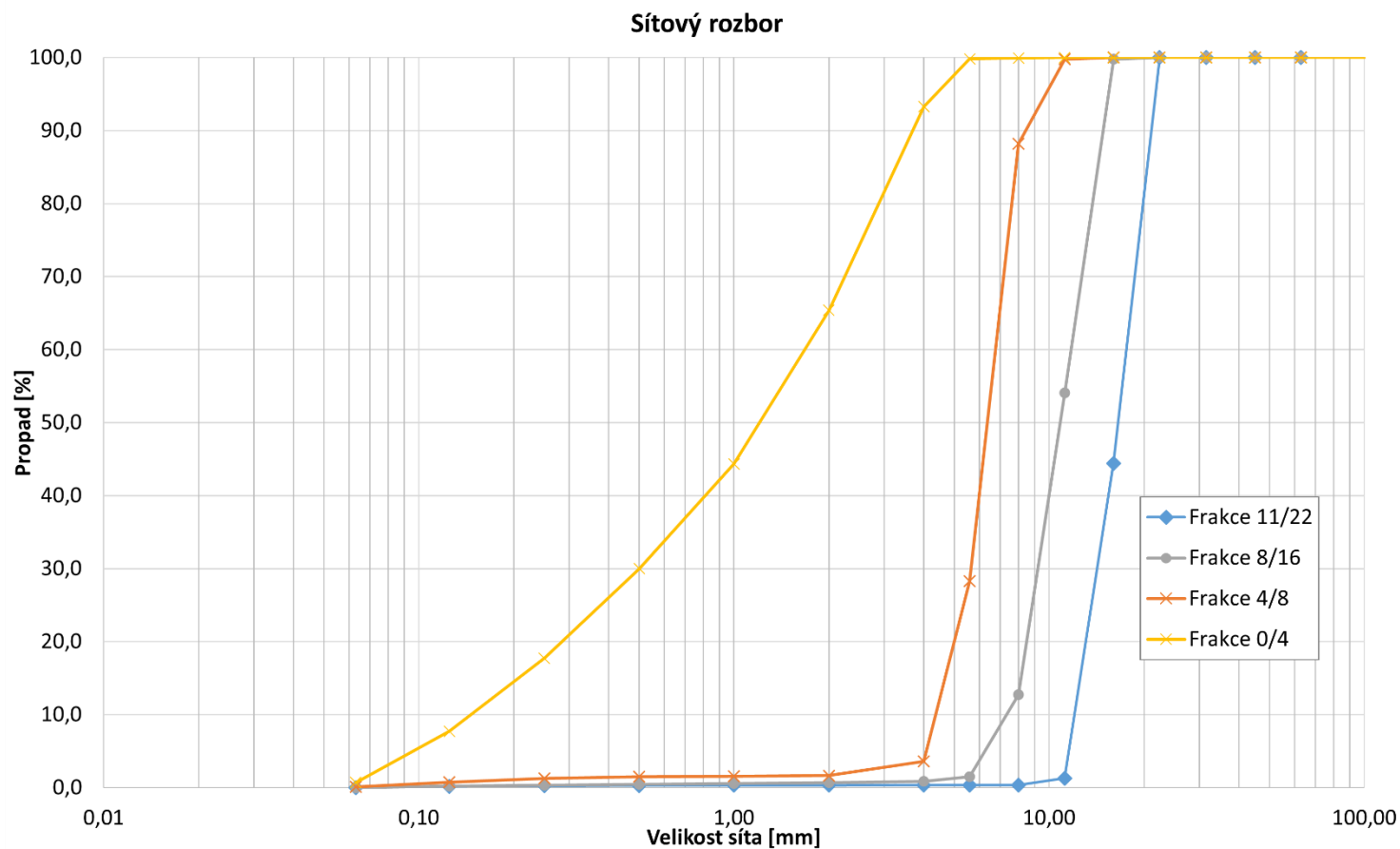
Poznámky:

Místo odběru: Kobeřice

Datum odběru: 27.11.2024

Datum zkoušky: 27.11.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr





ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Místo odběru: Kozí Vrch

Datum zkoušky: 27.11.2024

Identifikace laboratoře: FAST PKO

Datum odběru: 27.11.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr

Poznámky:

Velikost Síta [mm]	Frakce 0/4			Frakce 11/22			Frakce 8/16			Frakce 8/11			Frakce 4/8		
	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]
125,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
63,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
45,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
31,500	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
22,400	0,0	0,00	100,0	108,6	4,14	95,9	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
16,000	0,0	0,00	100,0	1803,6	73,01	27,0	746,5	28,72	71,3	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
11,200	0,0	0,00	100,0	652,2	97,91	2,1	1770,7	96,85	3,1	275,1	10,77	89,2	2,7	0,14	99,9
8,000	0,0	0,00	100,0	34,1	99,21	0,8	71,8	99,61	0,4	1639,8	74,99	25,0	151,3	7,85	92,1
5,600	1,0	0,06	99,9	3,1	99,33	0,7	1,0	99,65	0,3	536,6	96,00	4,0	1180,1	68,04	32,0
4,000	153,6	8,80	91,2	0,4	99,34	0,7	0,0	99,65	0,3	45,8	97,80	2,2	500,2	93,54	6,5
2,000	504,9	37,55	62,5	1,0	99,38	0,6	0,3	99,66	0,3	10,7	98,21	1,8	88,5	98,06	1,9
1,000	370,6	58,65	41,4	1,4	99,44	0,6	0,1	99,67	0,3	9,8	98,59	1,4	10,8	98,61	1,4
0,500	276,4	74,39	25,6	1,8	99,51	0,5	0,4	99,68	0,3	9,2	98,96	1,0	3,9	98,81	1,2
0,250	221,5	87,00	13,0	3,1	99,63	0,4	1,4	99,74	0,3	9,8	99,34	0,7	4,1	99,02	1,0
0,125	139,3	94,93	5,1	4,6	99,80	0,2	3,1	99,86	0,1	9,0	99,69	0,3	6,0	99,32	0,7
0,063	84,4	99,73	0,3	4,7	99,98	0,0	3,5	99,99	0,0	7,5	99,98	0,0	7,8	99,72	0,3
dno	4,7	100,00	0,0	0,5	100,00	0,0	0,1	100,00	0,0	0,4	100,00	0,0	5,5	100,00	0,0
SUMA	1756,4			2619,1			2599,0			2553,6			1960,9		



ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Identifikace laboratoře: FAST PKO

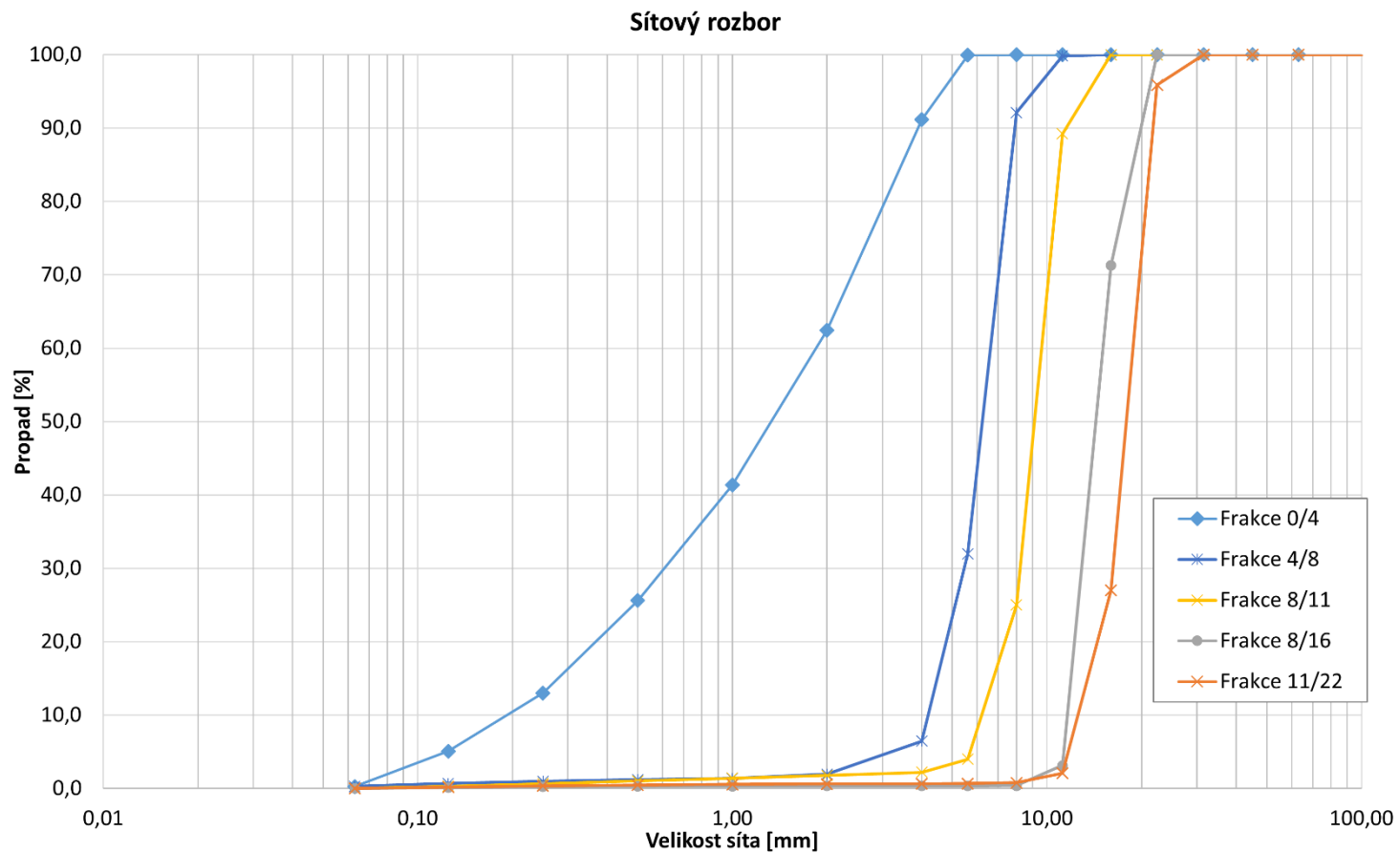
Poznámky:

Místo odběru: Kozí Vrch

Datum odběru: 27.11.2024

Datum zkoušky: 27.11.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr





ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Místo odběru: Ochoz

Datum zkoušky: 09.12.2024

Identifikace laboratoře: FAST PKO

Datum odběru: 27.11.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr

Poznámky:

Velikost Síta	Frakce 4/8			Frakce 0/4			Frakce 8/16		
	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu
[mm]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]
125,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
63,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
45,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
31,500	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
22,400	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
16,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	8,7	0,34	99,7
11,200	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	1838,2	71,78	28,2
8,000	300,2	15,24	84,8	0,0	0,00	100,0	692,5	98,69	1,3
5,600	1417,4	87,19	12,8	7,9	0,45	99,5	24,6	99,65	0,4
4,000	234,8	99,11	0,9	269,5	15,82	84,2	0,3	99,66	0,3
2,000	11,5	99,70	0,3	563,0	47,92	52,1	0,4	99,67	0,3
1,000	1,5	99,77	0,2	399,8	70,72	29,3	0,9	99,71	0,3
0,500	0,7	99,81	0,2	257,7	85,41	14,6	1,3	99,76	0,2
0,250	1,0	99,86	0,1	144,8	93,67	6,3	1,7	99,82	0,2
0,125	1,2	99,92	0,1	68,0	97,54	2,5	2,0	99,90	0,1
0,063	1,3	99,98	0,0	36,5	99,62	0,4	1,6	99,96	0,0
dno	0,3	100,00	0,0	6,6	100,00	0,0	1,0	100,00	0,0
SUMA	1969,9			1753,8			2573,1		



ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Identifikace laboratoře: FAST PKO

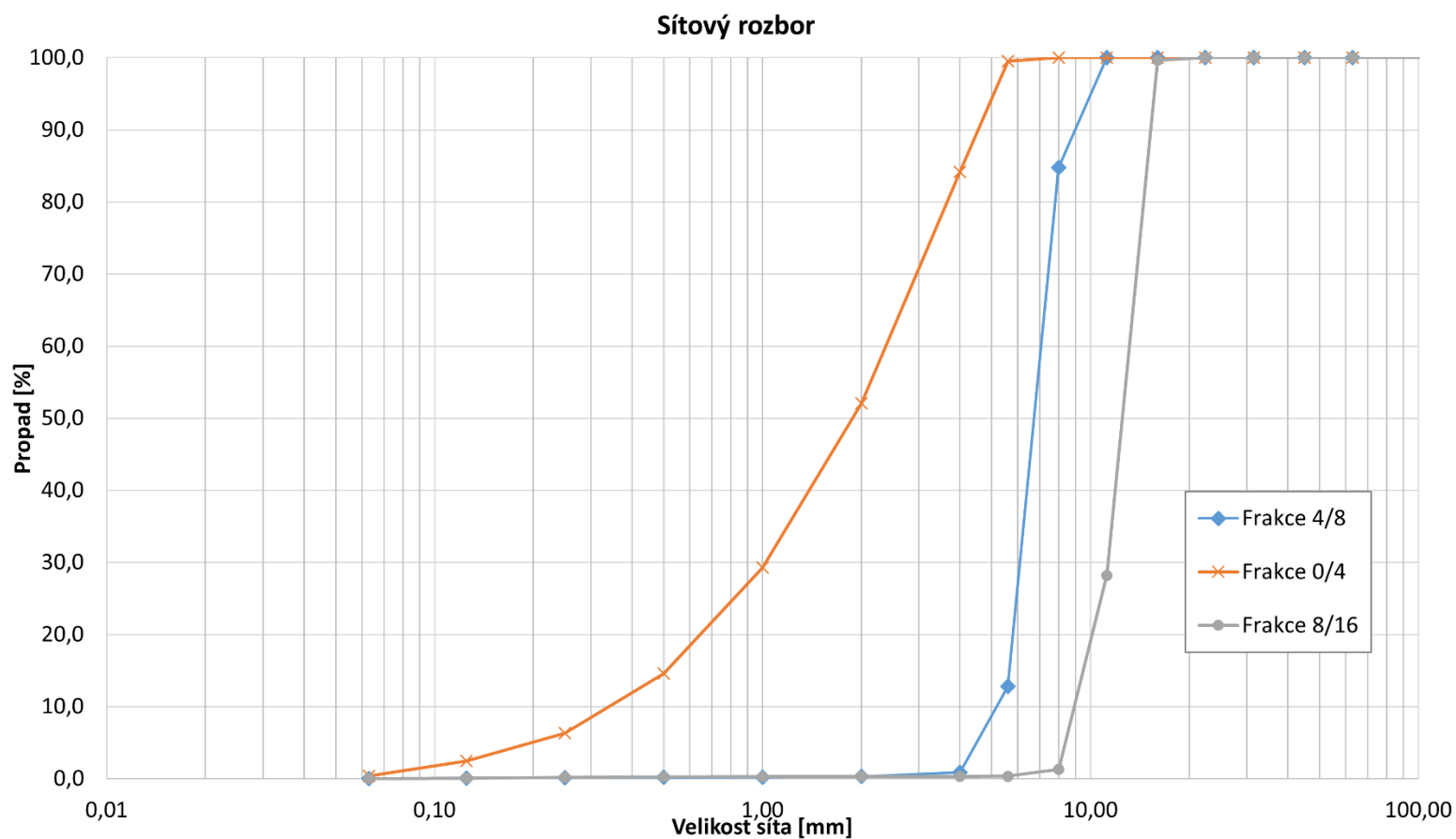
Poznámky:

Místo odběru: Ochoz

Datum odběru: 27.11.2024

Datum zkoušky: 09.12.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr





ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Místo odběru: Líšeň

Datum zkoušky: 09.12.2024

Identifikace laboratoře: FAST PKO

Datum odběru: 27.11.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr

Poznámky:

Velikost Síta [mm]	Frakce 0/4			Frakce 4/8			Frakce 8/16			Frakce 16/32		
	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]
125,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
63,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
45,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
31,500	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
22,400	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	1121,8	42,79	57,2
16,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	141,1	5,49	94,5	1280,4	91,63	8,4
11,200	0,0	0,00	100,0	1,7	0,08	99,9	1238,1	53,69	46,3	213,6	99,78	0,2
8,000	0,0	0,00	100,0	255,2	12,59	87,4	1035,8	94,02	6,0	2,5	99,88	0,1
5,600	0,8	0,04	100,0	1134,6	68,22	31,8	138,6	99,41	0,6	0,0	99,88	0,1
4,000	251,0	12,63	87,4	508,0	93,13	6,9	6,2	99,66	0,3	0,5	99,90	0,1
2,000	1546,2	90,21	9,8	130,7	99,53	0,5	1,4	99,71	0,3	0,8	99,93	0,1
1,000	181,0	99,29	0,7	2,6	99,66	0,3	2,1	99,79	0,2	0,5	99,95	0,1
0,500	8,7	99,72	0,3	1,7	99,75	0,3	1,8	99,86	0,1	0,5	99,97	0,0
0,250	3,0	99,87	0,1	1,4	99,81	0,2	1,3	99,91	0,1	0,3	99,98	0,0
0,125	1,5	99,95	0,1	1,6	99,89	0,1	1,0	99,95	0,0	0,4	99,99	0,0
0,063	0,5	99,97	0,0	1,4	99,96	0,0	1,0	99,99	0,0	0,3	100,00	0,0
dno	0,5	100,00	0,0	0,8	100,00	0,0	0,1	100,00	0,0	0,0	100,00	0,0
SUMA	1993,2			2039,7			2568,7			2621,5		



ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Identifikace laboratoře: FAST PKO

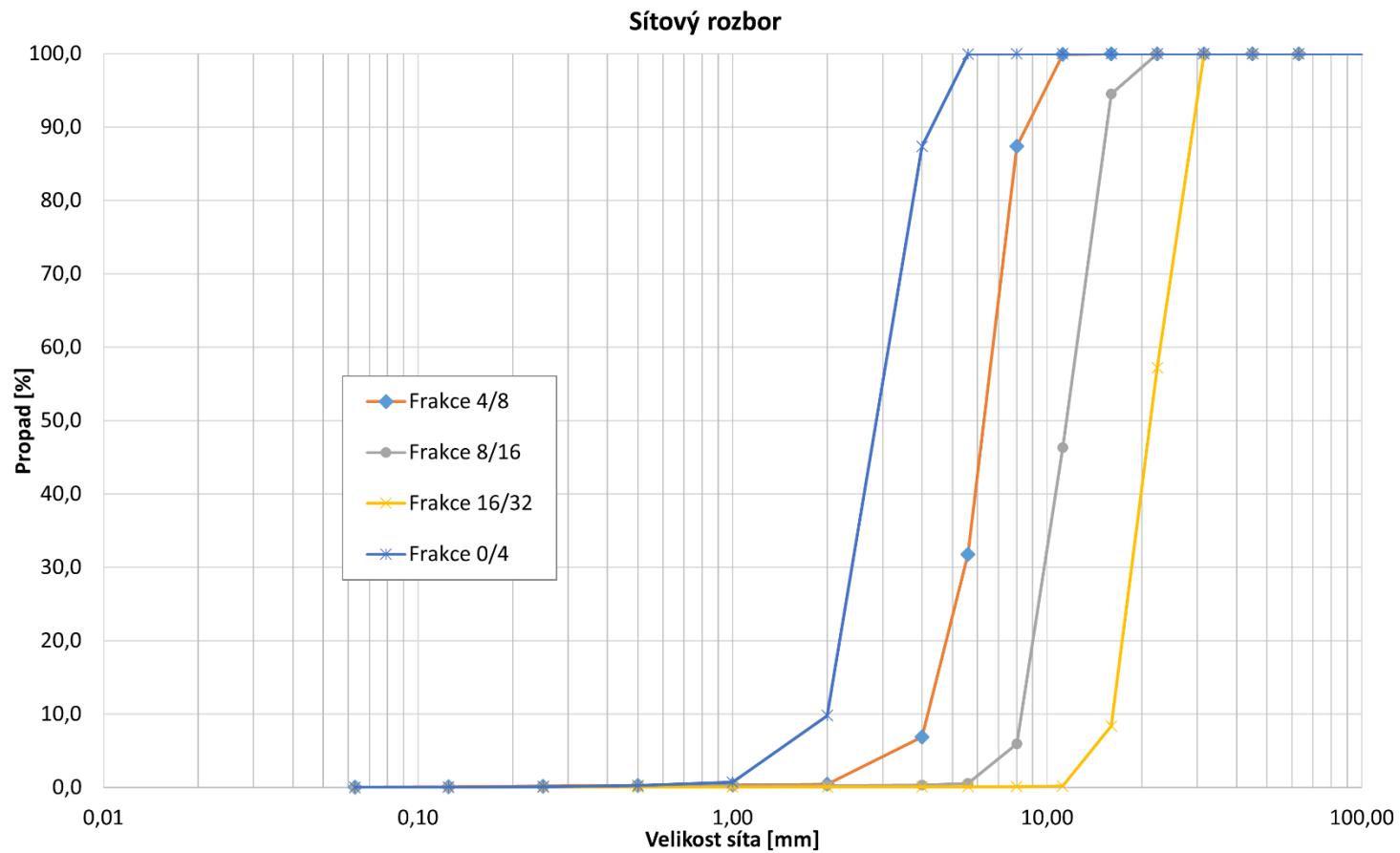
Poznámky:

Místo odběru: Líšeň

Datum odběru: 27.11.2024

Datum zkoušky: 09.12.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr





ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Místo odběru: Výkleky

Datum zkoušky: 21.11.2024

Identifikace laboratoře: FAST PKO

Datum odběru: 23.10.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr

Poznámky:

Velikost Síta	Frakce 8/16			Frakce 8/11			Frakce 4/8			Frakce 2/4			Frakce 0/2		
	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]
[mm]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]
125,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
63,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
45,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
31,500	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
22,400	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
16,000	81,1	3,14	96,9	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
11,200	2053,7	82,52	17,5	161,6	6,19	93,8	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
8,000	428,2	99,07	0,9	2040,9	84,39	15,6	460,0	23,20	76,8	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
5,600	15,7	99,68	0,3	308,6	96,22	3,8	1136,1	80,50	19,5	2,8	0,14	99,9	0,2	0,01	100,0
4,000	1,2	99,72	0,3	48,6	98,08	1,9	368,6	99,09	0,9	638,4	32,99	67,0	1,0	0,07	99,9
2,000	0,8	99,75	0,2	19,9	98,84	1,2	13,5	99,77	0,2	1256,8	97,65	2,4	237,6	13,70	86,3
1,000	0,4	99,77	0,2	5,9	99,07	0,9	0,9	99,82	0,2	28,4	99,11	0,9	509,4	42,93	57,1
0,500	0,5	99,79	0,2	5,9	99,29	0,7	0,6	99,85	0,2	7,4	99,49	0,5	368,5	64,07	35,9
0,250	0,7	99,81	0,2	5,6	99,51	0,5	0,7	99,88	0,1	3,9	99,69	0,3	293,7	80,92	19,1
0,125	1,2	99,86	0,1	5,1	99,70	0,3	0,7	99,92	0,1	1,4	99,76	0,2	186,9	91,65	8,4
0,063	2,5	99,95	0,0	7,0	99,97	0,0	1,3	99,98	0,0	3,8	99,96	0,0	112,9	98,12	1,9
dno	1,2	100,00	0,0	0,8	100,00	0,0	0,3	100,00	0,0	0,8	100,00	0,0	32,7	100,00	0,0
SUMA	2587,1			2609,8			1982,7			1943,7			1742,9		



ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Identifikace laboratoře: FAST PKO

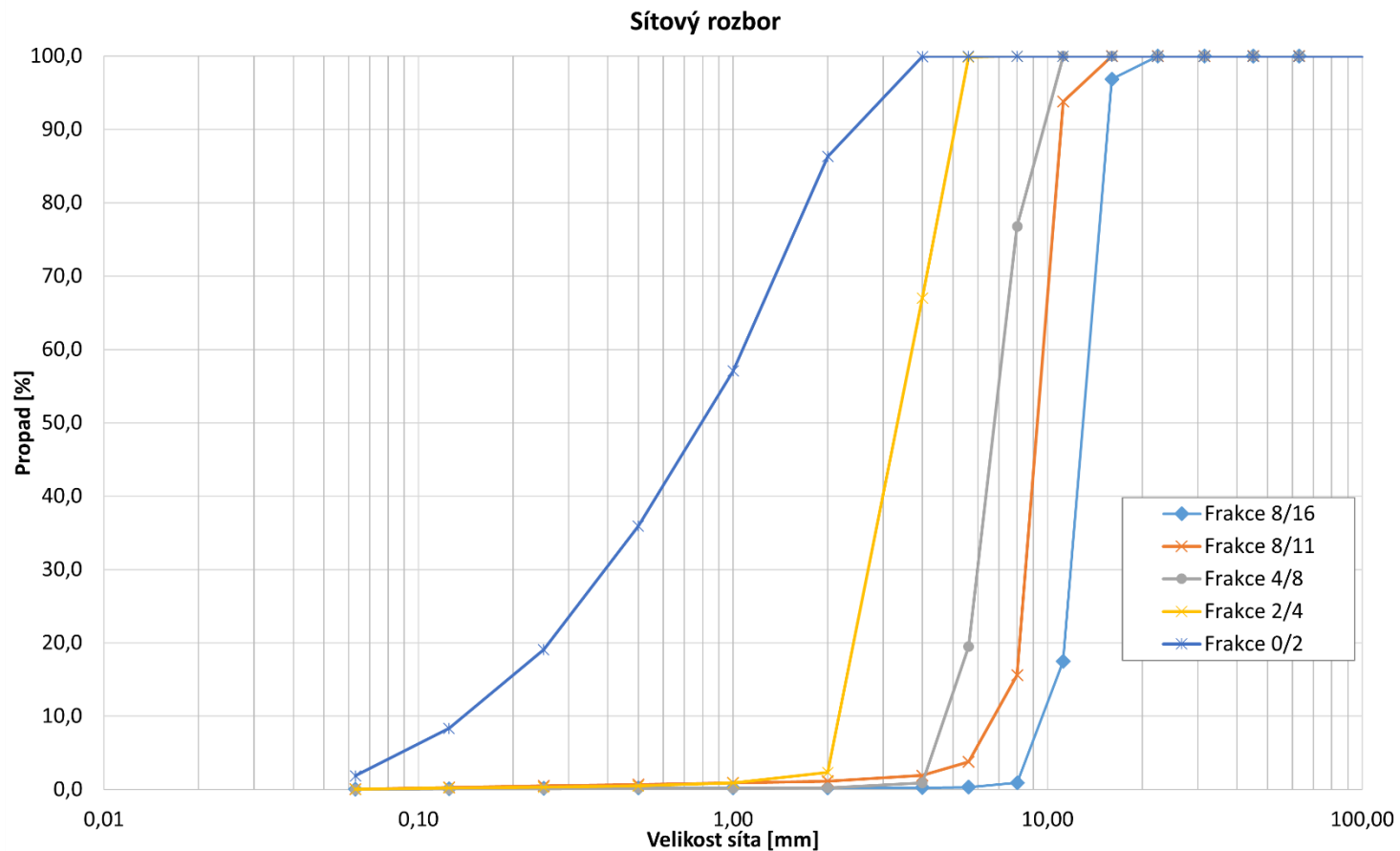
Poznámky:

Místo odběru: Výkleky

Datum odběru: 23.10.2024

Datum zkoušky: 21.11.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr





ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Místo odběru: Chrlice

Datum zkoušky: 31.10.2024

Identifikace laboratoře: FAST PKO

Datum odběru: 21.11.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr

Poznámky:

Velikost Síta [mm]	Frakce 11/22			Frakce 8/16			Frakce 8/11			Frakce 4/8			Frakce 0/4		
	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]	Hmotnost zůstatku materiálu [g]	Procenta zůstatku materiálu [%]	Součtové procento propadu [%]
125,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
63,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
45,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
31,500	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
22,400	70,7	2,72	97,3	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
16,000	784,7	32,91	67,1	184,5	6,91	93,1	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
11,200	594,4	55,77	44,2	1282,1	54,92	45,1	312,9	11,64	88,4	2,2	0,11	99,9	0,0	0,00	100,0
8,000	885,4	89,84	10,2	1027,0	93,39	6,6	1910,1	82,67	17,3	165,5	8,47	91,5	0,0	0,00	100,0
5,600	216,7	98,17	1,8	168,2	99,69	0,3	413,3	98,04	2,0	1077,2	62,86	37,1	0,0	0,00	100,0
4,000	34,2	99,49	0,5	5,2	99,88	0,1	36,9	99,41	0,6	533,2	89,78	10,2	38,2	2,01	98,0
2,000	8,3	99,81	0,2	1,4	99,94	0,1	8,5	99,72	0,3	178,1	98,77	1,2	606,3	33,84	66,2
1,000	1,6	99,87	0,1	0,1	99,94	0,1	0,8	99,75	0,2	11,7	99,36	0,6	486,0	59,36	40,6
0,500	0,9	99,90	0,1	0,1	99,95	0,1	0,4	99,77	0,2	2,4	99,48	0,5	325,0	76,42	23,6
0,250	0,7	99,93	0,1	0,3	99,96	0,0	0,8	99,80	0,2	2,4	99,61	0,4	232,0	88,60	11,4
0,125	0,8	99,96	0,0	0,5	99,98	0,0	1,2	99,84	0,2	3,1	99,76	0,2	139,8	95,94	4,1
0,063	0,8	99,99	0,0	0,5	100,00	0,0	3,1	99,96	0,0	4,0	99,96	0,0	72,7	99,76	0,2
dno	0,3	100,00	0,0	0,1	100,00	0,0	1,2	100,00	0,0	0,7	100,00	0,0	4,6	100,00	0,0
SUMA	2599,4			2670,1			2689,1			1980,5			1904,6		



ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Identifikace laboratoře: FAST PKO

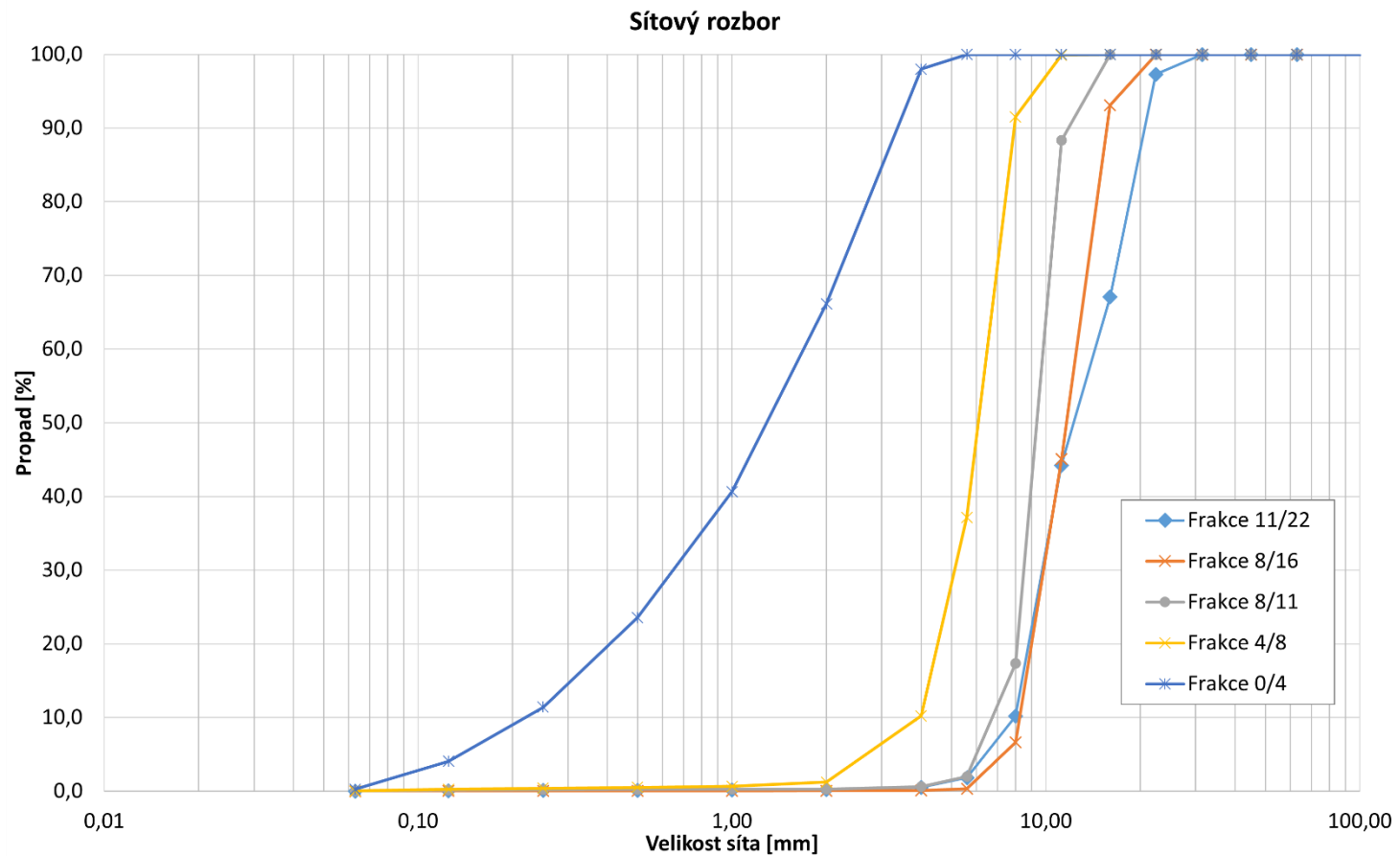
Poznámky:

Místo odběru: Chrlice

Datum odběru: 21.11.2024

Datum zkoušky: 31.10.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr





ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Místo odběru: Jakubčovice

Datum zkoušky: 15.10.2024

Identifikace laboratoře: FAST PKO

Datum odběru: 1.4.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr

Poznámky:

Velikost Síta	Frakce 0/4			Frakce 4/8			Frakce 8/11			Frakce 11/16		
	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu	Hmotnost zůstatku materiálu	Procenta zůstatku materiálu	Součtové procento propadu
[mm]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]	[g]	[%]	[%]
125,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
63,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
45,000	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
31,500	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
22,400	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0	0,0	0,00	100,0
16,000	0,0	0,00	100,0	8,0	0,40	99,6	10,4	0,39	99,6	293,3	11,11	88,9
11,200	0,0	0,00	100,0	0,0	0,40	99,6	499,5	19,00	81,0	1955,2	85,16	14,8
8,000	0,0	0,00	100,0	115,2	6,10	93,9	1687,7	81,88	18,1	360,6	98,81	1,2
5,600	3,6	0,18	99,8	1253,1	68,15	31,8	421,9	97,60	2,4	22,4	99,66	0,3
4,000	44,5	2,43	97,6	514,4	93,63	6,4	39,7	99,08	0,9	4,4	99,83	0,2
2,000	457,5	25,55	74,5	101,8	98,67	1,3	7,9	99,38	0,6	0,0	99,83	0,2
1,000	533,0	52,48	47,5	15,1	99,42	0,6	1,7	99,44	0,6	0,9	99,86	0,1
0,500	370,5	71,20	28,8	4,7	99,65	0,4	1,6	99,50	0,5	0,8	99,89	0,1
0,250	316,9	87,21	12,8	2,3	99,76	0,2	2,6	99,59	0,4	0,8	99,92	0,1
0,125	197,1	97,17	2,8	1,9	99,86	0,1	4,2	99,75	0,3	0,8	99,95	0,0
0,063	53,0	99,84	0,2	2,6	99,99	0,0	5,9	99,97	0,0	1,0	99,99	0,0
dno	3,1	100,00	0,0	0,3	100,00	0,0	0,9	100,00	0,0	0,3	100,00	0,0
SUMA	1979,2			2019,4			2683,7			2640,4		



ČSN EN 933-1

Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Identifikace vzorku: -

Identifikace laboratoře: FAST PKO

Poznámky:

Místo odběru: Jakubčovice

Datum odběru: 1.4.2024

Datum zkoušky: 15.10.2024

Zkoušku provedl: Bc. Spáčil Petr

Sítový rozbor

