



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

MALTY S ALTERNATIVNÍMI SUROVINAMI

MORTAR WITH ALTERNATIVE RAW MATERIALS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

SILVIE KOZIELOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. NIKOL ŽIŽKOVÁ, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Silvie Kozielová
Název	Malty s alternativními surovinami
Vedoucí práce	doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2016
Datum odevzdání	26. 5. 2017

V Brně dne 30. 11. 2016

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Svoboda, L. a kol. Stavební hmoty, 2. vydání: Jaga Group, Praha, 2007, ISBN 978-80-260-4972-2
Liguori, B. et al. The effect of recycled plastic aggregate on chemico-physical and functional properties of composite mortars, *Materials and Design*, Vol. 57, 2014, p. 578–584.

Martínez. I. et al. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars, *Construction and Building Materials*, Vol. 49, 2013, p. 384–392.
Cuenca-Moyano, G., M. et al. Development of the life cycle inventory of masonry mortar made of natural and recycled aggregates, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 140, 2017, p. 1272–1286.

Články v odborných časopisech a sbornících
Jiná odborná tuzemská i zahraniční literatura

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Malta je historicky známým stavebním materiálem, který je využíván nejen pro zdění, ale také pro pokládku, spárování či omítání staveb. Vlastnosti malt jsou ovlivňovány především složením směsi, která je obvykle ze tří hlavních složek: plnivo, pojivo a voda. Od 2. poloviny 20. století je stavebnictvím využívána široká škála výrobků chemického průmyslu a výroba malt je jednou z oblastí, kde jsou moderní přísady úspěšně aplikovány za účelem úpravy požadovaných vlastností. V bakalářské práci povedte:

1. Proveďte rešerši tuzemské i zahraniční odborné literatury.
2. Uveďte základní členění a vlastnosti malt.
3. Charakterizujte jednotlivé složky malt, pozornost věnujte maltám s cementovým pojivem.
4. Souhrnně popište alternativní suroviny využívané ve výrobě cementových malt jako náhrada plniva i pojiva a jejich vliv na výsledné vlastnosti těchto jemnozrnných cementových kompozitů.
5. Uveďte současné trendy ve vývoji malt v ČR i celosvětovém měřítku.
6. V experimentální části navrhnete a otestujete maltu využívající alternativní surovinu.

Rozsah práce cca 50 stran včetně příloh.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá stavební hmotou maltou. Jedná se zde především o využití odpadních surovin z průmyslu, jako náhrady části plniva či pojiva pro výrobu malty. Teoretická část práce se zabývá informacemi o členění a vlastnostech malty, o jejich složkách a způsobech využití. Dále souhrnně popisuje alternativní suroviny malt a také trendy dnešní doby pro její výrobu. Praktická část se zaměřuje právě na využití alternativních surovin, jako náhrady části plniva i pojiva malt. Vyhodnocují a porovnávají se vlastnosti, jež byly dosaženy u malt s vybranými odpadními surovinami.

Klíčová slova

Stavební hmota, malta, odpadní suroviny, alternativní suroviny, cementová malta, polymerní přísada

Abstract

This bachelor's thesis deals with building material mortar. These are mainly the use of waste materials from industry to replace part of the filler or binder to produce mortar. The theoretical part deals with information about the classification and properties of mortar on their ingredients and methods of use. Collectively describes alternative raw materials suitable for use in mortar production and trends of our time for its production. The practical part is focused precisely on the use of alternative raw materials to replace part of the filler or binder to produce mortar. Evaluated and compared with the properties achieved by the mortar with the selected raw materials waste.

Key words

Building materials, mortar, waste materials, alternative raw materials, cement mortar, polymeric additive

Bibliografická citace VŠKP

Silvie Kozielová *Malty s alternativními surovinami*. Brno, 2017. 68 s.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav
technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Nikol Žižková, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Nikol Žižkové Ph.D. za odbornou pomoc při vypracování této práce a zaměstnancům THD za technickou pomoc.

OBSAH

1 ÚVOD	11
2 CÍL PRÁCE	13
3 TEORETICKÁ ČÁST	14
3. 1 Historie maltovin	14
3. 2 Obecný popis maltových směsí	17
3. 2. 1 Obecné rozdělení maltových směsí.....	17
3. 2. 2 Rozdělení malt podle norem ČSN EN	19
3. 2. 2. 1 Popis a značení malt	20
3. 2. 3 Použití malt	21
3. 2. 4 Vlastnosti složek malt.....	24
3. 2. 4. 1 Plnivo	24
3. 2. 4. 2 Pojivo	25
3. 2. 4. 3 Voda.....	26
3. 2. 4. 4 Přísady	26
3. 2. 4. 5 Příměsi	27
3. 2. 5 Výroba malty	28
3. 3 Cementové malty	29
3. 3. 1 Složky pro výrobu malty pro zkoušení cementu.....	29
3. 3. 1. 1 Normalizovaný písek CEN.....	29
3. 3. 1. 2 Cement	30
3. 3. 1. 3 Voda.....	30
3. 3. 2 Příprava malty pro zkoušení cementu	30
3. 3. 3 Vlastnosti cementových malt podle současných norem.....	31
3. 3. 3. 1 Normové vlastnosti malty pro vnitřní a vnější omítky	31
3. 3. 3. 2 Normové vlastnosti malty pro zdění	33
3. 4 Alternativní suroviny pro výrobu malt	35
3. 4. 1 Typy alternativních surovin.....	36
3. 4. 2 Druhotné suroviny jako pojivo	36
3. 4. 2. 1 Skelný odpad	37
3. 4. 2. 2 Elektrárenský popílek	38
3. 4. 2. 3 Zemědělské odpadní produkty	39
3. 4. 2. 4 Křemičitý úlet.....	39
3. 4. 2. 5 Odpady z výroby kameniva	40
3. 4. 3 Druhotné suroviny jako plnivo	41
3. 4. 3. 1 Demoliční odpad	41
3. 4. 3. 2 Keramický odpad.....	43

3. 4. 3. 3 Odpadní plast.....	45
3. 4. 3. 4 Elektrárenský popílek	46
3. 4. 3. 5 Struska vysokopeční a z obloukových pecí	47
3. 4. 4 Vyhodnocení vlivu alternativních suroviny na vlastnosti malt.....	48
3. 4. 5 Trendy ve vývoji malt.....	48
4 PRAKTICKÁ ČÁST	50
4. 1 Použité materiály.....	50
4. 1. 1 Cement CEM I 42,5 R	50
4. 1. 2 Písek.....	52
4. 1. 3 Skelný prášek.....	52
4. 1. 4 Keramický prášek.....	53
4. 1. 5 Polymerní přísada	54
4. 2 Provedené zkoušky.....	54
4. 2. 1 Stanovení konzistence čerstvé malty s použitím střešacího stolku	54
4. 2. 2 Objemová hmotnost zatvrdlé malty	54
4. 2. 3 Stanovení nasákavosti	55
4. 2. 4 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku.....	55
4. 3 Vyhodnocení provedených zkoušek	56
5 SHRUTÍ A DISKUZE VÝSLEDKŮ.....	59
6 ZÁVĚR.....	62
7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	64
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	68

1 ÚVOD

Pro vytvoření stavebního díla je zapotřebí stavebních látek, u kterých využíváme jejich vlastností tak, aby dílo splňovalo normové požadavky a zaručovalo bezpečnost, trvanlivost, odolnost vůči působení okolních vlivů, estetiku a požadovanou životnost. Stavební látky jsou suroviny organického nebo anorganického původu, vhodné pro výrobu stavebního prvku či díla. Existuje mnoho druhů stavebních látek, zároveň se stále vyvíjí nové, kvalitnější, pro dnešní dobu vhodnější materiály. Mezi klasické stavební materiály se řadí kamenivo, sklo, dřevo, kovy, maltoviny a jiné.

Právě stavební pojiva jsou významnou součástí stavebních materiálů a konstrukcí. To znamená, že se používají k výrobě konstrukčních prvků, k výrobě malt pro spojování těchto prvků, dále pro povrchové úpravy stavebních děl, pro rekonstrukce starých budov nebo památek, pro obkládání stěn nebo pokládání dlažeb, pro injektáže apod. Jejich využití má velmi široký rozsah. Díky tak velkému využití zahrnují stavební pojiva celou škálu materiálů, které se neustále vyvíjejí a zdokonalují. Kladou se stále přísnější požadavky na zlepšení mechanických vlastností, trvanlivosti a životnosti, odolnosti proti agresivním vlivům.

Důkazem toho, že už před dávnými časy se používaly kvalitní starověké malty, jsou do dnes dochované stavby z doby Římského impéria, z Egypta z doby už 4 tisíciletí před naším letopočtem nebo z doby, kdy Židé používali vápno jako běžné stavivo. Také při stavbě známé Velké čínské zdi se již používalo vápno.

Tato práce se zabývá stavební hmotou – maltou, zejména z pohledu využití alternativních surovin pro výrobu malt. Kvůli tomu, že vedlejších produktů stále přibývá, je vhodné je využívat a to díky příznivému působení na Zemi a pro nás výhodnému ekonomickému využití těchto druhotných surovin. Stavební průmysl obecně zpracovává jedny z největších objemů surovin a výroba právě stavebních pojiv je spojena s využitím vedlejších produktů. Produkty vznikající jako nedílná součást výroby v různých odvětvích působí velmi nepříznivými účinky na Zemi a to zejména vysokými emisemi oxidu uhličitého, vypouštěného do atmosféry.

Kvůli znečišťování životního prostředí se ve stavebnictví snažíme méně spotřebovávat primární suroviny a naopak je nahrazujeme surovinami druhotnými. Využíváme toho jednak z ekologického hlediska, ale také jsou pro průmysl výhodné alternativní produkty pro opětovné zpracování z ekonomického hlediska.

2 CÍL PRÁCE

Tato bakalářská práce je zaměřena na využití alternativních surovin pro výrobu malt. Jedná se o zpracování rešerše a zjištění vlivu různých druhů vedlejších odpadních surovin na vlastnosti maltových směsí.

Druhotnými surovinami se nahrazují složky malty jako je pojivo a plnivo. V praktické části této práce se pojednává o nahrazení 15 % cementu pomletým sklem a plnivo je z 30 % nahrazeno keramickým práškem (sanitární keramika – umyvadlo). Vytvořily se dvě skupiny hmot s určitým zastoupením části pojiva a plniva. Každá skupina měla tři druhy směsí a navíc se do jedné skupiny malt přidávala polymerní přísada VINNAPAS 5044.

3 TEORETICKÁ ČÁST

3.1 Historie maltovin

Stavitelé už po dlouhá tisíciletí používají materiály, které se souhrnně nazývají maltoviny nebo též stavební pojiva, díky tomu, že jimi mohli spojovat kameny, hliněné cihly, mohutné bloky, atd. do svislých zdí, které vytvořily konečný masivní objekt.

Nálezy dokazují, že Turci používali vápno v maltách již před 14 000 lety. Jeho využití ve větším rozsahu však nastává až v Římské říši. První známý návod na míchání vápenné malty, jak ji známe dnes, sepsal architekt Vitruvius ve svém díle Deset knih o architektuře. Egypťané používali již ve 4. tisíciletí před Kristem dobré vápenosádrové malty. Babyloňané využívali vápennou maltu jen pro vodní stavby, pro ostatní stavby používali spíše asfalt. Židé zase používali vápno jako běžné stavivo. Na našem území se dochovaly vápenné omítky z vykopávek kostelů z období Velkomoravské říše. Historicky nejstaršími maltami jsou obecně malty hlínové, na bázi jílových hlín, další následovaly malty sádrové a nakonec malty vápenné. Dnes se používají malty cementové, polymercementové apod. jako lepicí tmely, správkové, spárovací, injektážní malty, malty pro zdění, omítkové směsi atd [1].

Hlínové malty se používaly pro spojování nepálených cihel a později i pro omítání staveb jak z nepálených cihel, tak z kamene nebo dřeva. Využíval se jíl nebo jílovitá hlína z místních zdrojů. Jako plnivo se vedle písku používaly především vláknité materiály – řezanka, štetiny apod., přičemž podíl jednotlivých složek v maltové směsi závisel na kvalitě (vaznosti) použité hlíny. Objevovaly se pouze v lidové architektuře [2].

Sádra jako druhé nejstarší pojivo, se v našich zemích objevilo v 17. století v období baroka. Sádrové malty se používaly a používají především pro omítání a štukové výzdoby interiéru. Obsahují většinou zpomalovač tuhnutí, případně další přísady. Plnivo pro sádrové omítky není nezbytné, avšak často se používají písky nebo vápencové drtě. Dříve se také vyráběly speciální druhy sádry, které se vyznačovaly vyšší odolností proti povětrnosti a měly vyšší pevnosti. Zde lze uvést např. Keenovu sádru, Schottovu sádru a de Wyldovu sádru. Objevila

se také nová technika, kdy se vyráběl umělý mramor na bázi sádry. Tato technika pochází od mistrů řemesla z Florencie [2].

Historické vápenné malty se vyznačovaly poměrně vysokým obsahem vápenného hydrátu. Toto bylo zapříčiněno převážně špatnou kvalitou vápna. Časem se postupně zvyšovala kvalita vápna a to znamenalo snížení jeho obsahu v maltě. Až v období renesance se poměr vápna a písku ustálil na poměru 1 : 3 pro malty ke zdění nebo hrubé omítky, který se používá i dnes. Pro jemné malty se míchají složky v poměru 1 : 2 [3].

První zmínky o cementových sloučeninách byly zaznamenány z období asi 12 milionů let před Kristem. Ložiska těchto sloučenin popsali izraelští geologové v 60. letech 20. století. Kolem roku 3000 let př. n. l. Číňané začali používat cementové materiály pro spojování bambusových větví a kmenů při stavbě kánoí i Velké čínské zdi. O mnoho let později, během let 300 př. n. l. – 480 n. l. používají Římané pucolánový cement v blízkosti města Pozzuoli při budování známé Appiovy silnice, římských lázní, Kolosea a Pantheonu v Římě. Pro výrobu cementových materiálů se používalo vápno. V roce 1779 je vydán první patent na hydraulické vápno pro vnější omítky. Francouz Louis Vicat v roce 1812 připravil syntetické hydraulické vápno kalcinací syntetických směsí vápence a jílu. Angličan Joseph Aspdin vynalézá portlandský cement v roce 1824, když spaluje jemně mletou křídou s jemně rozdrobeným jílem v peci s odtahem oxidu uhličitého. Slinutý produkt rozemlel a nazval portlandský cement. Od tohoto okamžiku se začíná ve velkém vyrábět hydraulické vápno a cement, vznikají první zkoušky pevnosti v tlaku a tahu za ohybu, zavádí se čelistové drtiče pro drcení slínku apod. [3].

Základními stavebními pojivy dnešní doby jsou vzdušné a hydraulické vápno, cementy na bázi křemičitanového a hlinitanového slínku. Výrobou těchto pojiv se spotřebovává velké množství energie a unikají značná množství oxidu uhličitého, který způsobuje skleníkový efekt. Postupně se rozvíjely technologie a technika pro výrobu a zpracování pojiv. Dále se ve výrobě pojiv zaměřilo na kvalitu a byla zavedena automatizace výroby stavebních pojiv. Cement se začal vyrábět suchým, energeticky méně náročným, procesem. Stavebnictví se zaměřilo na využití kvalitních druhotných surovin, které nahradily suroviny

primární. V oblasti výroby betonu se zařadily nové trendy, jako např. přísady (plastifikační, provzdušňující, urychlující nebo zpomalující tuhnutí či tvrdnutí cementu atd.) a příměsi (mikrosilika, popílky, mletá struska apod.). Tyto trendy posunuly vývoj o další úroveň výše. V současnosti se uplatňuje několik způsobů, které napomáhají ochraně životního prostředí: využívání vedlejších produktů, výroba alternativních druhů silikátových pojiv, úspora paliv zefektivněním výroby a využitím náhradních paliv. [1]

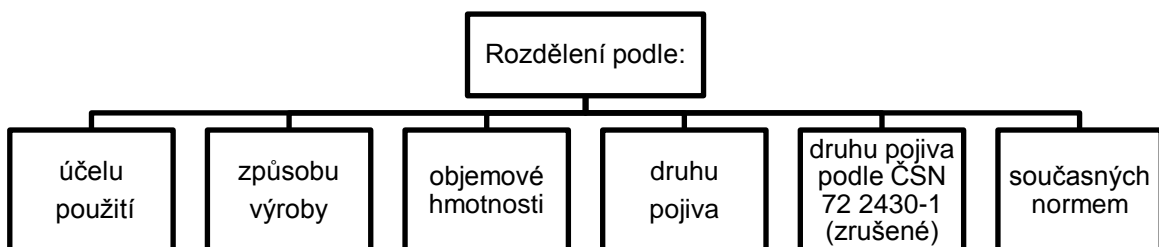
3. 2 Obecný popis maltových směsí

Malta je hmota, která vzniká zatvrdnutím čerstvé malty. Čerstvá malta je kašovitou až tekutou směsí připravenou mísením drobného kameniva, anorganického pojiva, vody a případně přísad zlepšující požadované vlastnosti. Tuto maltu je možno vyrobit přímo na staveništi (staveništní malta) nebo se použije předem vyrobená suchá maltová směs. Suchá maltová směs je sypká suchá malta, která obsahuje všechny složky kromě vody. Sypká směs se rozmíchá s vodou až těsně před použitím. Další možností je namíchání malty v centrální výrobě i s vodou (mokrý maltová směs), na staveništi se doveze a ihned se používá ke svému účelu. V maltě se může vyskytovat buď jeden druh pojiva, nebo také vhodná směs více druhů pojiv. Používá se ke spojování jiných stavebních hmot nebo prvků, dílců či částí, dále je vhodná pro povrchové úpravy nebo vyplnění mezer či trhlin [4].

3. 2. 1 Obecné rozdělení maltových směsí

Pro rozdělení maltových směsí se vycházelo z [4].

Malty lze rozdělit z několika hledisek a parametrů např. podle druhu pojiva, způsobu výroby, účelu použití apod. Rozdělení znázorňuje následující schéma na Obr. 1.



Obr. 1: Obecné rozdělení maltových směsí [4]

Podle použití:

- obyčejné malty pro vnitřní nebo vnější omítky (GP),
- lehké malty pro vnitřní nebo vnější omítky (LW),
- zbarvené malty pro vnější omítky (CR),

- malty pro jednovrstvé vnější omítky (OC),
- tepelně izolační malty pro vnitřní i vnější omítky (T),
- sanační malty pro vnitřní i vnější omítky (R).

Malty pro vnitřní i vnější omítky se rozdělují:

- podle záměru výroby,
- návrhové malty podle volby výrobce,
- předpisové malty.

Podle způsobu výroby:

- průmyslově vyráběné malty,
- malty zčásti připravené průmyslové,
- staveništní malty.

Podle objemové hmotnosti:

- tepelně izolační – objemová hmotnost do $1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,
- vylehčené – objemová hmotnost od 1101 do $1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,
- obyčejné – objemová hmotnost od 1601 do $2200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$,
- těžké – objemová hmotnost nad $2200 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Podle složení použitého pojiva:

- malty ze vzdušných vápen,
- malty ze směsi vzdušného vápna a cementu, u nichž obsah cementu nepřesahuje 50 % celkové hmotnosti pojiva,
- cementové malty a malty ze směsi vzdušného vápna a cementu, u nichž obsah vzdušného vápna nepřesahuje 50 % hmotnosti pojiva,
- malty s jinými hydraulickými pojivy,
- malty se zpozdřovací přísadou.

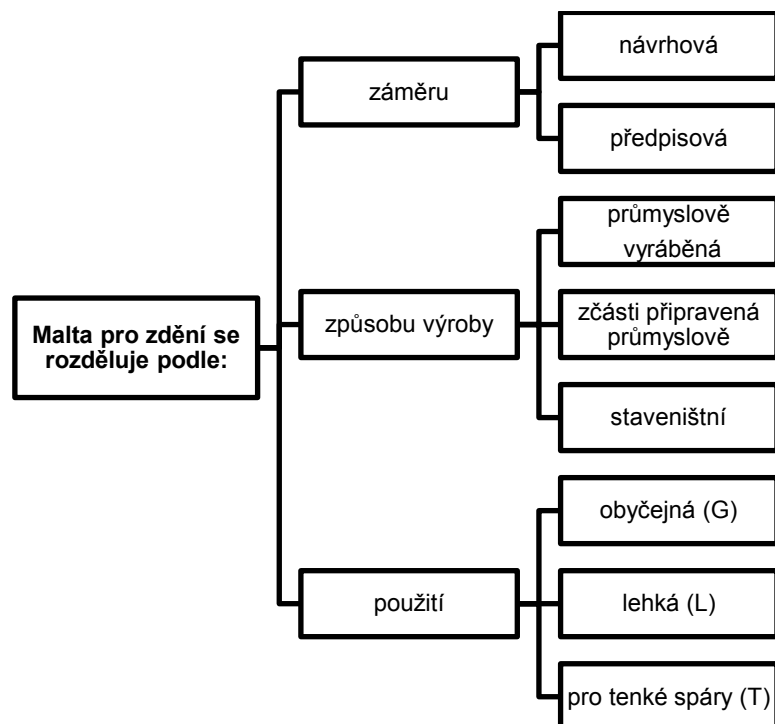
Zrušená ČSN 72 2430 – 1 rozlišovala malty podle typu používaného pojiva:

- malty vápenné obyčejné (hrubé) – MV,
- malty vápenné jemné – MVJ
- malty vápenocementové obyčejné (hrubé) – MVC,
- malty vápenocementové jemné – MVCJ,
- malty pro šlechtěné omítky – MVCO,
- malty vápenosádrové – MVS,
- malty sádrové MS,
- malty cementové obyčejné (hrubé) – MC,
- malty pro cementový postřík – MCP.

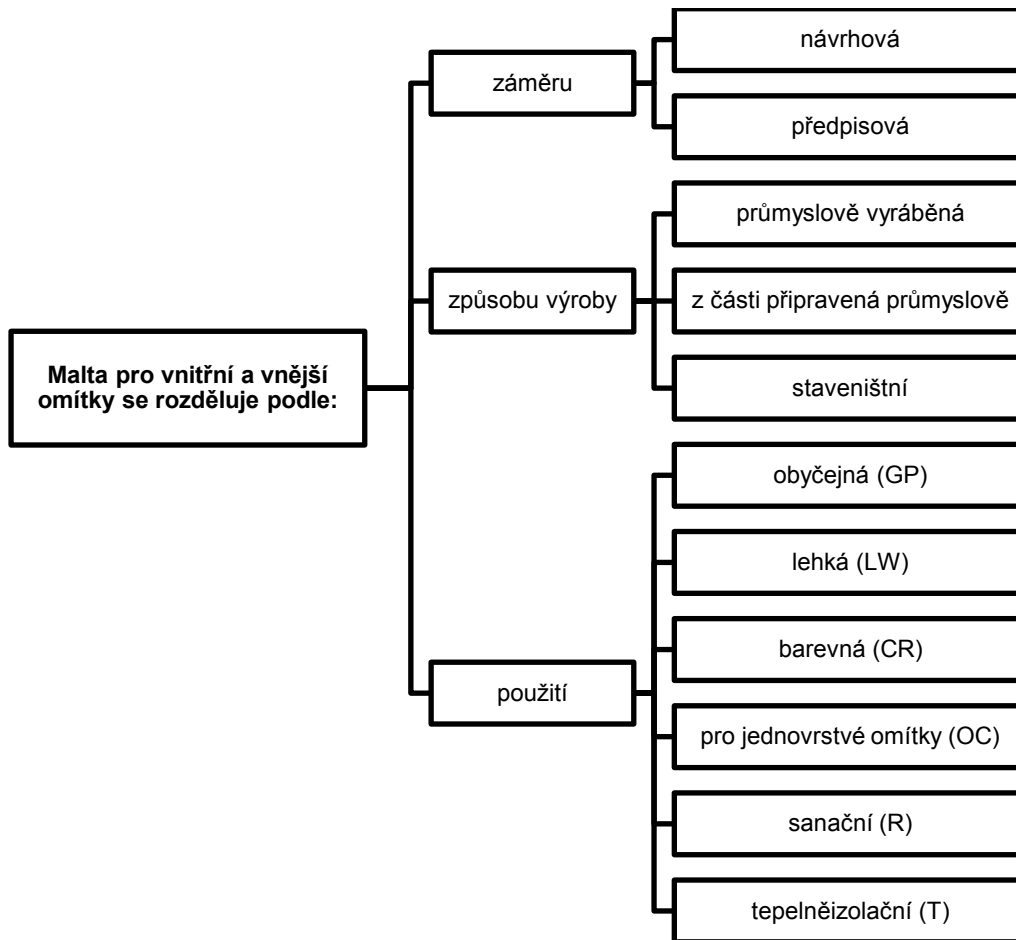
S označováním malt v duchu této normy se můžeme setkat dodnes.

3. 2. 2 Rozdělení malt podle norem ČSN EN

Nově se průmyslově vyráběné malty třídí podle následujícího schématu na Obr. 2 a 3. Norma ČSN EN 998 – 1 ed.2: Malta pro vnitřní a vnější omítky, část 1 je v platnosti od března 2011. Norma ČSN EN 998 – 2 ed.2: Malta pro zdění, část 2 nabyla platnosti v březnu 2011[5, 6].



Obr. 2: Rozdělení malty pro zdění [6]



Obr. 3: Rozdělení malt pro vnitřní a vnější omítky [5]

3. 2. 2. 1 Popis a značení malt

Označení štítkem je označení malt, které musí být vyznačeno na obalu, v dodacím listu, v údajích výrobce nebo v jiné informaci spojené s výrobkem. Štítek má obsahovat potřebné informace z níže uvedeného výčtu parametrů [5, 6]:

- Číslo a datum vydání této normy
- Název a adresa výrobce
- Původní název výrobku
- Určení pro vnější nebo vnitřní použití
- Pokyny k použití
- Vlastnosti a kategorie (obsah vzduchu, soudržnost, absorpce vody, atd.)
- Údaj o datu výroby
- Druh malty

- Dobu zpracovatelnosti
- Obsah chloridů
- Obsah vzduchu
- Poměr dávkování složek a vztah k pevnosti v tlaku nebo třídě pevnosti v tlaku
- Pevnost v tlaku nebo třídu pevnosti v tlaku
- Soudržnost
- Absorpci vody
- Objemovou hmotnost
- Tepelnou vodivost
- Trvanlivost
- Maximální velikost zrna kameniva
- Čas pro úpravu
- Reakci na oheň

3. 2. 3 Použití malt

Vzhledem k velké rozmanitosti druhů maltových směsí jsou využívány v mnoha způsobech. Výčet většiny z nich je popsán níže.

Suché maltové – směsi se nejčastěji používají na výrobu šlechtěných omítek, tenkovrstvých omítek a umělého kamene. Mokrá maltová směs se používá ke spojování jiných stavebních hmot nebo prvků, dílců či částí, dále je vhodná pro povrchové úpravy nebo vyplnění mezer či trhlin apod. [7].

Malty pro vnitřní a vnější omítky – typická dvouvrstvá omítka, nejprve se aplikuje jádro pro vyrovnání podkladu o tloušťce 15 mm, potom jemná omítka cca 5 mm. Požadavky jsou uvedeny v ČSN EN 998 – 1[7].

Malty pro vnitřní sádrové omítky – lze použít příměsi (fillery, vlákna, pigmenty), přísady (zpomalovače tuhnutí, provzdušňovače, plastifikátory). Druhy – sádrová stavební malta B1, stavební malta na bázi sádry B2, sádro-vápenná malta B3, lehké sádrové stavební malty B4 – B6, sádrová stavební malta se zvýšenou tvrdostí povrchu B7, sádrové malty pro speciální účely C1 – C6 [7].

Tenkovrstvé omítky – tloušťky milimetrového řádu (od 4 mm), zhotovují se z průmyslově vyrobených suchých omítkových směsí. Aplikují se jako jednovrstvé. Druhy – minerální, akrylátové, silikonové, silikátové [7].

Sanační omítky – určeny k úpravě zasoleného a vlhkého zdiva interiéru i exteriéru. Umožňují vysychání zdiva díky difúzním vlastnostem. Oproti klasickým cementovým nebo vápenným omítkám mají sanační omítky vyšší pórovitost, vyšší propustnost pro vodní páru, sníženou kapilární nasákavost. Pojivo je vždy hydraulické (portlandský cement, hydraulické vápno) [7].

Tepelně izolační malty – měly by mít hodnotu tepelné vodivosti do $0,36 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Vyrábí se i omítkové tepelně izolační malty s hodnotami jen $0,09 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ – $0,12 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. K dosažení takových hodnot je třeba zajistit dostatečné množství pórů vyplněných vzduchem. Jako plnivo se obvykle používá lehčené kamenivo – keramzit, expandovaný perlit, pěnový polystyren apod. Objemová hmotnost tepelně izolačních malt je maximálně $1100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tato malta zabraňuje vzniku tepelných mostů a zvyšuje tepelný odpor zdiva až o 17 %. Mají příznivou protipožární odolnost a dobrou tepelnou izolaci [7].

Hliněné malty – většinou při obnově historických staveb. Pro výrobu se používá pouze jako plnivo písek různých frakcí a pojivem je jíla. Neobsahuje hydraulické pojivo. K zamezení deformací v důsledku smrštění se přidávala řezanka, pazdeř a zvířecí chlupy. Kritériem trvanlivosti je míra bobtnání [7].

Malty pro zdění – mají rozdílné podíly cementu, vápenného hydrátu a písku. Typy M, N, O, S; typ M má největší obsah cementu a nejvyšší tlakovou pevnost; typ S (základová malta) má dobré tlakové pevnosti (cca 13 MPa) a dobré tahové spojení dvou prvků; typ N vykazuje průměrnou tlakovou pevnost 5,5 MPa a je určená pro venkovní nadzemní zdi i komíny; typ O má nízkou pevnost v tlaku (cca 2,5 MPa) a používá se pro interiérové použití, není vhodná pro nosné zdivo [7].

Malty pro podlahové potěry ze síranu vápenatého – rozšířené samonivelační síranové potěry, oproti cementovým potěrům mohou vykazovat vyšší pevnost v tahu za ohybu i vyšší pevnost v tlaku. Výhodná je minimální tloušťka 35 mm, nevhodné do vlhkého prostředí [7].

Pokládací malty – kdysi vápenocementová pokládací malta (velké tloušťky), dnes lepicí tmely (menší tloušťky), případně speciální malty na bázi vodního skla, pro žárovzdorné a kyselinovzdorné vyzdívky apod. Typické chemicky odolné malty jsou dvousložkové, nejčastěji složené z pojiva smíchaného s vodou a práškovitého plniva s vytvrzovací složkou [7].

Stykové malty – definována normou jako cementová malta pro osazování dílců nebo pro vyplnění prostoru mezi dílci. Je snaha o zlepšení kvality u prefabrikovaných zálivkových malt s expanzním charakterem, které pak umožňují osazovat mechanicky silně namáhané prvky. [7]

Lepidla pro obkladové prvky – třídí se podle pojiv na: cementová pojiva (C), disperzní lepidla (D) a lepidla z reaktivní pryskyřice (R). Cementová lepidla jsou směsí hydraulických pojiv, kameniva a organických přísad, mísí se s vodou nebo jinou kapalnou složkou bezprostředně před použitím. Disperzní lepidla jsou směsí organického pojiva nebo pojiv ve formě vodní polymerní disperze, organických přísad a minerálních plniv, tato směs je připravena k použití. Lepidla z reaktivní pryskyřice jsou směsí syntetické pryskyřice, minerálních plniv a organických přísad, vytvrzuje se chemickou reakcí a je dostupná v jednosložkové nebo vícesložkové formě. [8]

Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky – jedná se o výrobek vhodný k vyplňování spár mezi všemi typy keramických obkladových prvků. Podle typu pojiva se rozeznávají dva druhy:

- Cementová spárovací malta (CG), je směsí hydraulických pojiv, kameniva, anorganických a organických přísad.
- Spárovací malta a lepidlo z tvrditelné pryskyřice (RG), je směs syntetické pryskyřice, kameniva, anorganických a organických přísad, která se vytvrzuje chemickou reakcí [9].

Správkové malty – slouží k obnově betonového prvku, který je uveden touto maltou do původního tvaru a poslouží původní funkci. Nanáší se na předem upravený povrch betonu různými technologiemi např. ručně nebo nástřikem. Správkové malty se vyrábí na bázi cementové, polymercementové nebo polymerní [10].

Injektážní malty – malty s tekutou až plastickou konzistencí, používají se pro utěsnění netěsných míst, pro injektování kanálků s výztuží, pro vyplňování trhlin, dilatačních nebo pracovních spár, také se jimi zpevňuje půdní podloží apod. [11].

Stěrkové malty – mají plastickou až tuhou plastickou konzistenci a lze je využít pro krycí vrstvy betonu, pro zvýšení odolnosti proti korozi, oděru, pro vytvoření vodotěsné vrstvy odolné proti kyselé nebo zásadité podzemní vodě apod. Aplikuje se ručně nebo strojně [12].

Lepicí a stěrkové hmoty pro kontaktní zateplovací systémy ETICS – lepicí hmota pro ETICS je specifikovaný výrobek pro spojení tepelně izolačního materiálu s podkladem. Druh lepicí hmoty je určen stavební dokumentací. Lepicí hmota se nanáší ručně nebo strojně na celý rubový povrch desky nebo ve formě pásu po celém obvodu desky, či ve formě terčů (minimálně 3 terče na jednu desku). Stěrková hmota je součástí základní vrstvy pro ETICS do níž patří i skleněná síťovina. Stěrková hmota se rozděluje podle druhu pojiva na: disperzní hmotu (převažujícím pojivem jsou syntetické polymery dispergovatelné ve vodě), minerální (převažujícím pojivem je cement) a jiné. Často je podle dokumentace ETICS stěrková hmota totožná s lepicí hmotou. Základní vrstva se provádí nanesením stěrkové hmoty, do které je pro zesílení vtlačena skleněná síťovina a následné nanesení další vrstvy stěrkové hmoty. Nanášení stěrkové hmoty pro základní vrstvu se provádí ručně nebo strojně obvykle 1 až 3 dny po nalepení desek tepelné izolace. Základní vrstva musí být provedena do 14 dní po nalepení desek, případně je třeba provést opatření pro ochranu desek tepelné izolace před vnějšími vlivy. [13]

3. 2. 4 Vlastnosti složek malt

Vlastnosti nejčastěji používaných složek malt jsou popsány v následujících odstavcích.

3. 2. 4. 1 Plnivo

Plnivo je jednou ze základních složek malt a zároveň je objemově největší složkou. Plnivo maltu vyztužuje a zmenšuje její objemové změny, způsobené při procesu tvrdnutí. [7].

Nejčastěji se používá přírodní kamenivo těžené nebo drcené, umělé hutné nebo pórovité kamenivo z průmyslových odpadů, jako je vysokopecní struska, škvára, popílek, také uměle vyrobené pórovité kamenivo keramzit, expandovaný perlit atd. Dále jako plnivo je možno použít drcené sklo, skleněnou balotinou a přírodní nebo umělá vlákna (skleněná, minerální, čedičová a kovová vlákna apod.) Do organického plniva můžeme zařadit rostlinné odpady, piliny, drcený dřevní odpad nebo granule z organických látek [7].

Druh a frakce kameniva se určí podle účelu použití malty. Přírodní těžené kamenivo je nejběžnější a jeho druh a zrnitost se volí podle účelu použití malty. Pro malty na spojování keramických dílců a pro stykové malty se používá zejména frakce 0 – 4 mm a 4 – 8 mm v předepsaném poměru, pro malty pro zdění, pro kladení dlažeb, pro obklady a pro jádrovou vrstvu omítek frakce 0 – 4 mm. Pro malty na jemné omítky a pro spárování při tloušťce spáry do 4 mm frakce 0 – 1 mm. Vlastnosti kameniva pro malty musí vyhovovat normovým požadavkům, dle normy ČSN EN 196 – 1 [7].

3. 2. 4. 2 Pojivo

Pojivo je další základní složkou malt. Při tuhnutí a tvrdnutí hliněných malt rozdělaných s vodou působí pojivo pouze fyzikálně (koloidní sesychání), zatímco současné čerstvé malty tvrdnou díky chemické reakci pojivového systému složek. Reakci způsobuje přítomnost cementu a/nebo vápna. Proces tuhnutí a tvrdnutí malt je závislý na druhu pojiva a prostředí, v němž probíhá. Malty s anorganickým vzdušným pojivem ve vlhkém prostředí obtížně tuhnou a bez přístupu vzduchu netvrdnou. Dále nemohou dostatečně ztuhnout malty s organickými pojivy, které nesmějí v čerstvém stavu přijít do styku s vlhkostí nebo vodou. Malty s hydraulickými pojivy tuhnou ve vlhkém prostředí a tvrdnou i pod vodou a pro získání potřebné pevnosti potřebují po určitou dobu vlhké prostředí [7].

Základními pojivy dnes jsou vápno (pro rekonstrukce památek), hašené vápno – vápenná kaše, vápenný hydrát (omítání, zdění), hydraulická směsná pojiva, také portlandský cement CEM I, cement portlandský struskový CEM II/A, B-S, speciální cementy, méně sádrová pojiva. Na výrobu malty se používá všech druhů silikátových pojiv, hlín, žáruvzdorných jíílů, asphaltů, dehtů a syntetických

pryskyřic, disperzí nebo suspenzí. Vlastnosti cementu do malty musí vyhovovat normovým požadavkům, dle normy ČSN EN 196 – 1 [7].

3. 2. 4. 3 Voda

Voda pro výrobu malt musí být nezávadná, nesmí snižovat pevnost a trvanlivost malty ani způsobovat skvrny či výkvěty na omítkách. Pitnou vodu není nutno podrobovat zkouškám, ale vody jiného druhu se zkouší podle normy pro zkoušení záměsové vody do betonu ČSN EN 1008 [7].

3. 2. 4. 4 Přísady

Přísady především působí na cementovou suspenzi a jejich působení je závislé na druhu cementu. Vyšší měrný povrch cementu vytváří větší reakční plochu a tím usnadňuje reakci přísady se suspenzí. Existuje mnoho druhů přísad, jako jsou plastifikační a superplastifikační přísady (redukující vodu), stabilizující (zadržují vodu), provzdušňující, plynotvorné, pěnotvorné, naopak odpěňovací nebo expanzní, adhézní, hydrofobizační přísady, přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí cementu nebo zpomalující tuhnutí [14].

Přísady upravují vlastnosti malty, jako je zlepšení zpracovatelnosti, provzdušnění ke zvýšení mrazuvzdornosti, urychlení či zpomalení tuhnutí nebo tvrdnutí, zvýšení vodotěsnosti, dále pro úpravu mechanických vlastností. Přidávají se v malém množství před nebo během míchání malty [14].

Plastifikační přísady redukuje obsah vody v čerstvé směsi při dosažení stejné zpracovatelnosti a měly by snížit množství vody o více jak 5 %. Superplastifikační přísady fungují na stejném principu, jen výrazněji redukuje obsah vody (od 12 %, většinou je redukce kolem 30 %). V současnosti rozeznáváme několik druhů, jako jsou soli nebo deriváty ligninsulfonátů (LS), polykarboxyláty (PC), sulfonované naftalenformaldehydové kondenzáty (SNF), sulfonované melaminformaldehydové kondenzáty (SMF) a kopolymery karboxyakrylové kyseliny s akrylesterem. (CAE) [14].

Provzdušňovací přísady jsou látky, které po přidání do čerstvé záměsi vytváří velké množství uzavřených pórů. Nejen, že tímto je malta vylehčena, ale vzduch uzavřený v pórech zlepšuje chování malty vůči účinkům mrazu, póry snižují hydrostatický tlak v pórovité struktuře a snižují propustnost malty. Většinou

se používají tenzidy, jako mýdla přírodních pryskyřic, syntetické tenzidy a sloučeniny. Pro vzdušnění vyvolávají i pěnotvorné látky a některé plastifikační přísady [14].

Stabilizační přísady redukují odměšení vody v suspenzi. Hydrofobní přísady jsou látky omezující kondenzaci ve ztvrdlé maltě nebo betonu. Mezi hydrofobní přísady lze zařadit i těsnící přísady, jež zvyšují hutnost cementového kamene a snižují jeho pórovitost [14].

Přísady urychlující tuhnutí cementu zkracují dobu přechodu čerstvé směsi malty z plastického do tuhého stavu. Přísady urychlující tvrdnutí cementu urychlují vývoj počátečních pevností, které mohou a nemusí urychlovat také tuhnutí cementu. Dříve byl běžnou přísadou pro tyto účely chlorid vápenatý nebo jiné chloridové urychlovače. Nyní však jejich používání není dovoleno z důvodu omezení obsahu chloridových iontů v betonu, z důvodu koroze oceli v betonu nebo maltě. Hydrataci cementu také urychlují alkalické urychlovače, jako je vodní sklo, uhličitán sodný nebo draselný, dusitany nebo dusičnany sodné, draselné i vápenaté atd. Mezi urychlovače tvrdnutí cementu zařazujeme i protizmrazovací přísady, které zabraňují při záporných teplotách zmrznutí vody v pórech cementového kamene. Retardační přísady neboli přísady zpomalující tuhnutí cementu prodlužují dobu přechodu čerstvé malty z plastického stavu do stavu tuhé látky, tzn., že se používají k prodloužení doby manipulace s čerstvou maltou nebo čerstvým betonem. Pomalejší tuhnutí cementu omezuje vznik trhlinek. Velmi účinný zpomalovač tuhnutí je cukr (sacharóza nebo rafinóza), který znemožňuje vytvoření přesyceného roztoku Ca(OH)_2 . Dalšími retardačními látkami jsou humínové kyseliny, škrob, celulóza, ovocné kyseliny, glycerin, fosfáty apod. Dávkuje se ve velmi malém množství, asi do 0,5 % hmotnosti cementu [14].

3. 2. 4. 5 Příměsi

Příměsi jsou většinou práškovité látky omezené velikostí zrn (do 0,25 mm) přidávané do čerstvého betonu nebo malty za účelem zlepšení některých vlastností nebo k docílení zvláštních vlastností. Dělí se na dva typy: inertní příměsi (typ I) a pucolány nebo latentně hydraulické látky (typ II). Latentní hydraulická je schopnost látky reakcí s Ca(OH)_2 tvrdnout ve vodném prostředí za normálních podmínek. Podobné vlastnosti mají pucolánové látky, které se vyznačují vysokým

obsahem aktivního SiO_2 a podmínkou chemické reakce je alkalické prostředí roztoku vytvářené jinými chemickými sloučeninami, které nazýváme budiče hydraulicity. K příměsím také patří barevné pigmenty a organické polymery. Mezi příměsi typu II patří diatomity, opál, křemičité úlety, mikrosilika, pálené hlíny, popílky, struska, látky obsahující sopečné sklo tzn. tufy, sopečné sklo, trasy [14].

V případě potřeby probarvení malty se používají minerální pigmenty práškové nebo tekuté. Anorganické pigmenty se vyznačují barevnou stálostí ve styku s cementem a na povětrnosti, mají minimální vliv na mechanické pevnosti, jsou tepelně stálé a měly by mít hodnotu pH vyšší jak 7. Pigmenty se dávkuje buď v suchém nebo sypkém stavu do míchačky s cementem nebo se pigment rozplaví ve vodě a pak se dávkuje do čerstvého betonu (omezení prašnosti). Používají se oxidy železa (červené, hnědé nebo podobné odstíny), nikel-titanová žluť a chróm-titanová žluť. Pro modré odstíny se používá oxid chromitý, a zelený pigment je hydrát chromoxid [14].

3. 2. 5 Výroba malty

Dříve se malty vyráběly ručně, klasický recept pro výrobu malty na staveništi spočívá v suchém mísení pojiva a plniva v běžné stavební míchačce a následném přidávání vody. Její množství se vztahuje k požadované konzistenci výsledné čerstvé malty. Obvyklý způsob dávkování je 1 díl cementu, 3 díly písku a 0,5 dílu vody. Čerstvé malty se mohou vyrábět v centrálních maltárnách, odkud se rozvázejí na stavbu pro okamžité použití. Složky se dávkuje hmotnostně nebo objemově. Jakost malty závisí na poměru pojiva k plnivu.

Současným trendem je výroba suchých maltových směsí, které se vyrábí na staveništi smícháním s vodou. Jedná se o průmyslově vyrobené suché směsi, které se ukládají v silech nebo jsou pytlvány (nejčastěji po 25 kg) a na staveništi se pouze smíchají s potřebným množstvím vody, které uvádí výrobce na obalu.

3. 3 Cementové malty

Cementové malty se vyrábějí smíšením cementu, vody, písku a případně dalších příměsí a přísad. Cementové malty se používají na zdění velmi namáhaných částí zdiva, do keramických dílců, na hrubé jádrové omítky vnějších zdí (soklové zdivo), na vnitřní omítky, pro zálivky, pro spárování, potěry, postřiky, kladení dlažby a obkladů aj. [4].

3. 3. 1 Složky pro výrobu malty pro zkoušení cementu

Vzhledem k tomu, že je důležité pro cementové malty stanovení pevnosti, může být pro tyto účely použit návrh složení a namíchání maty podle normy ČSN EN 196 – 1. Zkoušky referenční malty se provádějí jako zkoušky srovnávací. To znamená, že se srovnají vlastnosti referenční malty obsahující přísadu, tu nazýváme směsí zkušební, s vlastnostmi referenční malty bez přísady, tou je směs kontrolní [15].

Typické složení cementové malty pro zkoušení pevnosti cementu podle ČSN EN 196 – 1 je: 1 hmotnostní díl cementu, 3 hmotnostní díly normalizovaného písku CEN a půl dílu vody (vodní součinitel 0,5) [15].

3. 3. 1. 1 Normalizovaný písek CEN

Pro stanovení pevnosti cementu podle ČSN EN 196 – 1 se používá normalizovaný písek CEN. Normalizovaný písek CEN má zrnitost stanovenou síťovým rozbořem vzorku písku. Prosévá se tak dlouho, až propad na každém síti je menší než 0,5 g/min. Obsah vlhkosti musí být menší než 0,2 % při stanovení úbytku hmotnosti vzorku písku po vysušení při teplotě 105 °C až 110 °C do ustálené hmotnosti vyjádřené jako procento hmotnosti vysušeného vzorku [15].

Normalizovaný písek CEN může být balen v sáčcích o hmotnosti $(1345 \pm 5 \text{ g})$; materiál sáčků nesmí mít vliv na výsledky zkoušek pevnosti a obsah sáčku musí mít správnou zrnitost podle tabulky zrnitosti referenčního písku CEN. Referenční písek CEN je přírodní křemenný písek složený ze zaoblených částic a obsahuje minimálně 98 % SiO_2 . Normalizovaný písek CEN musí být pečlivě skladován, aby se zabránilo poškození nebo znečištění vlivem průniku vlhkosti do písku [15].

Tab. 1: Zrnitost normalizovaného písku CEN [15]

Síto se čtvercovým okem [mm]	2,00	1,60	1,00	0,50	0,16	0,08
Celkový zbytek na síti [%]	0	7 ± 5	33 ± 5	67 ± 5	87 ± 5	99 ± 1

3. 3. 1. 2 Cement

Musí se zajistit, aby cement, který má být zkoušen, byl vystaven působení okolního prostředí co nejkratší dobu. Pokud je doba mezi odběrem vzorku a zkoušením delší než 24 hodin měl by být cement uchován ve vzduchotěsné vzorkovnici, jejíž materiál nereaguje s cementem [15]

3. 3. 1. 3 Voda

Záměsová voda musí vyhovovat podmínkám ČSN EN 1008. Ve zvláštních případech se smí použít destilovaná nebo deionizovaná voda. Není dovoleno použít vodu získanou recyklací při výrobě betonu. Množství vody přidané do kontrolní směsi musí odpovídat ČSN EN 196 – 1. U zkušebních směsí se přidává takové množství vody, aby se dosáhlo stejné konzistence jako u kontrolní směsi [15].

3. 3. 2 Příprava malty pro zkoušení cementu

Postup přípravy malty pro zkoušení cementu podle ČSN EN 196 – 1 [15].

Před mícháním se musí všechny složky malty vytemperovat na teplotu $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ (případně na $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$, vyžaduje-li to zkušební metoda). Použije se míchačka s nuceným oběhem a vnese se záměs o velikosti minimálně 50 % objemu míchačky (max. 90 %).

Suchý písek a cement se míchají 30 vteřin při nízké rychlosti v míchačce podle ČSN EN 196 – 1; v průběhu dalších 30 vteřin se přidá všechna voda (a přísada do zkušební směsi). V případě práškové přísady, která není rozpustná, se musí přidat už k suchým složkám, pokud výrobce nestanovuje jinak.

Míchá se dále při nízkých otáčkách 60 sekund.

Po tomto intervalu se míchačka zastaví a stěrkou se setře nerozmíchaný materiál během 30 sekund.

Pak se pustí míchačka na 60 vteřin při vysokých otáčkách. Celková doba míchání musí být 3 minuty 30 sekund.

Do 5 minut od konce míchání se stanoví konzistence podle ČSN EN 413 – 2 metodou penetrace nebo rozlití. Pak se provedou další potřebné zkoušky čerstvé malty.

Směsi se nalijí do forem 40 × 40 × 160 mm, nechají se ztuhnout a ztvrdnout, odformované vzorky se pak odzkouší dalšími zkouškami, které zjišťují vlastnosti zatvrdlých malt např. pevnost v tahu za ohybu, pevnost v tlaku apod.

3. 3. 3 Vlastnosti cementových malt podle současných norem

Vlastnosti malt jsou závislé na vlastnostech složek, ze kterých je malta vyrobena, poměru jejich míšení, způsobu zpracování a podmínek tuhnutí a tvrdnutí. Každý druh malty má svou charakteristickou vlastnost, např. pevnost v tlaku, pevnost v tahu za ohybu, objemovou hmotnost, objemovou stálost, mrazuvzdornost, vodotěsnost, propustnost pro vodní páru, trvanlivost atd.

3. 3. 3. 1 Normové vlastnosti malty pro vnitřní a vnější omítky

Vlastnosti čerstvých a zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky jsou dány normou ČSN EN 998 – 1 [5].

Vlastnosti čerstvých malt

Doba zpracovatelnosti musí být deklarována výrobcem, je-li malta vzorkována z dodávky v souladu s ČSN EN 1015 – 2 a zkoušena podle ČSN EN 1015 – 9, nesmí být doba zpracovatelnosti kratší než deklarovaná hodnota. Doba zpracovatelnosti se zkouší jen u malt obsahující přísadu pro úpravu tuhnutí. Doba zpracovatelnosti se stanovuje pomocí Vicatova přístroje s penetrační tyčkou (jehlou).

Obsah vzduchu musí být deklarován výrobcem, je-li nutné znát obsah vzduchu v maltě. Při vzorkování z dodávky v souladu s ČSN EN 1015 – 2 a zkoušení podle ČSN EN 1015 – 7 musí být obsah vzduchu v deklarováném rozsahu. Obsah vzduchu se stanovuje tlakovou nebo alkoholovou metodou. Stanovuje se tak, že se malta umístí do nádoby o známém objemu. Na povrch malty se přivede voda a tlakovým vzduchem nebo pomocí směsi alkoholu a vody

se působí na vzduch rozptýlený v pórech malty. Hladina vody klesne a charakterizuje objem vzduchu, vytlačený z malty.

Přídržnost u návrhových malt s předepsanými konstrukčními požadavky musí být soudržnost malty deklarována v hodnotách počáteční pevnosti ve smyku. Stanovuje se jako maximální napětí v tahu vyvozené zatížením působícím kolmo k povrchu malty pro vnitřní a vnější omítky nanesené k podkladu. Tahové zařízení se vyvozuje prostřednictvím kruhového odtrhového terče, přilepeného na zkoušenou plochu malty.

Pokud je potřeba míchání malty na staveništi pomocí zvláštní míchačky nebo dodržení zvláštní doby míchání, musí to výrobce uvést. Doba míchání začíná v okamžiku, kdy jsou všechny složky malty vnesené do míchačky.

Popis a označování malt pro omítky musí obsahovat číslo a datum vydání této evropské normy, název výrobku a/nebo druh malty, název výrobce, údaj o datu výroby. Označení štítkem suché maltové směsi musí být vyznačeno na obalu, v dodacím listu, v údajích výrobce nebo v jiné informaci spojené s výrobkem.

Vlastnosti zatvrdlých malt

Vzhledem k velkému množství druhů malt jsou požadovány i různé vlastnosti a hodnoty, které tyto malty musí splňovat. Hodnoty pevnosti v tlaku, absorpce vody, tepelné vodivosti se řídí podle Tab. 2 [5].

Tab. 2: Třídění podle vlastností zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky [5]

Vlastnosti	Kategorie	Hodnoty
Rozsah pevnosti v tlaku po 28 dnech	CS I	0,4 MPa až 2,5 MPa
	CS II	1,5 MPa až 5,0 MPa
	CS III	3,5 MPa až 7,5 MPa
	CS IV	$\geq 2,5$ MPa
Kapilární absorpce vody	W 0	není předepsána
	W 1	$C \leq 0,40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$
	W 2	$C \leq 0,20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{min}^{-0,5}$
Tepelná vodivost	T1	$\leq 0,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
	T2	$\leq 0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

3. 3. 3. 2 Normové vlastnosti malty pro zdění

Vlastnosti čerstvých a zatvrdlých malt pro zdění jsou dány normou ČSN EN 998 – 2. [6]

Vlastnosti čerstvých malt

Doba zpracovatelnosti je deklarována výrobcem, je-li malta vzorkována z dodávky v souladu s ČSN EN 1015 – 2 a zkoušena podle ČSN EN 1015 – 9. Doba zpracovatelnosti se stanovuje pomocí Vicatova přístroje s penetrační tyčkou (jehlou, válečkem).

Obsah vzduchu musí být deklarován výrobcem, je-li nutné znát obsah vzduchu v maltě. Při vzorkování z dodávky v souladu s ČSN EN 1015 – 2 a zkoušení podle ČSN EN 1015 – 7 musí být obsah vzduchu v deklarováném rozsahu. Obsah vzduchu se stanovuje tlakovou nebo alkoholovou metodou. Stanovuje se tak, že se malta umístí do nádoby o známém objemu. Na povrch malty se přivede voda a tlakovým vzduchem nebo pomocí směsi alkoholu a vody se působí na vzduch rozptýlený v pórech malty. Hladina vody klesne a charakterizuje objem vzduchu, vytlačený z malty.

Obsah chloridů musí být deklarován výrobcem, je-li nutné znát obsah vzduchu v maltě. Při vzorkování z dodávky v souladu s ČSN EN 1015 – 2 a zkoušení podle ČSN EN 1015 – 17. Z čerstvé malty se připraví vodný výluh, který obsahuje ve vodě rozpustné chloridy. Chloridy se pomocí roztoku dusičnanu stříbrného vysráží a následně se sraženina promývá kyselinou dusičnou. Dále se použije jen filtrát, který je titrován roztokem thiokyanatanu amonného. Touto metodou se stanoví celkový obsah halogenidů a výsledek obsahu chloridů se vyjádří jako procentuální obsah Cl^- ve vzorku. Obsah chloridů by neměl být větší než 0,1 % hmotnosti suché malty.

Vlastnosti zatvrdlých malt

Pevnost v tlaku návrhové malty pro zdění musí mít výrobcem deklarovanou pevnost v tlaku podle Tab. 3. Je-li malta pro zdění vzorkována z dodávky podle ČSN EN 1015 – 2 a zkoušena podle ČSN EN 1015 – 11. Musí být deklarováno, zda je obsah vzdušného vápna ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) roven 50 % obsahu pojiva nebo zda je vyšší. Pevnost v tlaku se zkouší na hydraulických lisech a zaznamenává

se hodnota síly při porušení vzorku. Následně se pevnost v tlaku vypočítá jako podíl maximální síly a zatěžovací plochy.

Tab. 3: Třídy malty [6]

Třída	M 1	M 2,5	M 5	M 10	M 15	M 20	M d
Pevnost v tlaku [MPa]	1	2,5	5	10	15	20	d
d je deklarovaná pevnost v tlaku vyšší než 20 MPa a vyjádřena jako násobek 5.							

Absorpce vody se deklaruje u malt pro zdění, které jsou určeny k použití na venkovních konstrukcích a konstrukcích přímo vystavených vlivu povětrnosti. Určuje se z hmotnosti vody nasáknuté do vzorku trámečku, který je na bočních stranách utěsněn silikonem.

Propustnost vodních par se deklaruje u malt pro zdění, které jsou určeny k použití na venkovních konstrukcích, podle ČSN EN 1745, jenž obsahuje hodnoty koeficientu propustnosti vodních par.

Objemová hmotnost – je-li potřebné znát rozsah objemové hmotnosti suché malty, musí výrobce tento rozsah deklarovat. Pokud je malta vzorkována z dodávky v souladu s ČSN EN 1015 – 2 a zkoušena podle ČSN EN 1015 – 10 musí objemová hmotnost spadat do deklarovaného rozsahu.

Tepelná vodivost se testuje, pokud je na maltu pro zdění požadováno tepelných požadavků, musí výrobce deklarovat střední hodnotu tepelné vodivosti malty $\lambda_{10,dry,mat}$. Zkoušení tepelné vodivosti se provádí pomocí stacionárních a nestacionárních metod.

U trvanlivosti musí být hodnocena odolnost vůči zmrazování/rozmrazování a deklarována podle předpisů platných v daném místě použití malty. Podstatou je provedení cyklů zmrazování a rozmrazování a následné porovnání mechanických vlastností se vzorky malty bez tohoto zkoušení.

Reakci na oheň musí výrobce deklarovat. Pokud je v maltě obsah rovnoměrně rozptýleného organického materiálu $\leq 1,0$ % hmotnosti nebo objemu, klasifikují se podle třídy A1 bez zkoušení. Pokud je v maltě obsah rovnoměrně rozptýleného organického materiálu $>1,0$ % hmotnosti nebo objemu, klasifikují se podle ČSN EN 13501 – 1.

Pokud je potřeba míchání malty na staveništi pomocí zvláštní míchačky nebo dodržení zvláštní doby míchání, musí to výrobce uvést. Doba míchání začíná v okamžiku, kdy jsou všechny složky malty vnesené do míchačky.

Dále je potřeba při přípravě zkušebních směsí znát hmotnost a objem směsi v suchém stavu. Dále je normově předepsaná hodnota rozlití pro různé druhy malt vztahující se na objemovou hmotnost čerstvé malty. Tyto požadavky popisuje ČSN EN 1015 – 2 a jejich přehled je uveden v Tab. 4 a 5 [16].

Tab. 4: Hmotnost a objem suché maltové směsi [16]

Směs čerstvé malty	Míchačka podle EN 196 - 1	Míchačka na maltu
Hmotnost v suchém stavu [kg]	1,8 – 3,0	30 - 50
Objem [dm ³]	0,5 – 2,5	25 – 75

Tab. 5: Předepsaná hodnota rozlití pro různé druhy malt vztahující se na objemovou hmotnost čerstvé malty [16]

Objemová hmotnost čerstvé malty [kg·m ⁻³]	Hodnota rozlití [mm]
> 1200	175 ±10
> 600 až ≤ 1200	160 ± 10
> 300 až ≤ 600	140 ± 10
≤ 300	120 ± 10

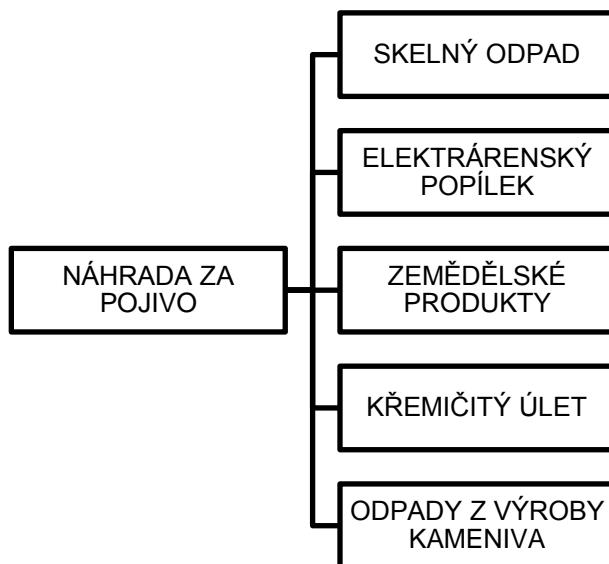
3. 4 Alternativní suroviny pro výrobu malt

Cementářský průmysl je jedním z největších producentů emisí CO₂ na světě, čímž tvoří značný podíl na emisi skleníkových plynů. Vzhledem k rostoucímu povědomí o globálním oteplování je energeticky efektivnější výroba cementu stále více zdůrazňována. Jednou z priorit je snížit poptávku po energii a zároveň efektivnější výroba cementu, což znamená omezit emise a využívat alternativních surovin a paliv, kterých stále přibývá ve formě odpadů z různých odvětví. Takovými vedlejšími (jemně pomletými) produkty výroby mohou být např. škvára ze spalovny komunálního pevného odpadu, popílek z uhelných elektráren, vysokopeční struska vznikající při výrobě železa, sádra z odsiřovacích zařízení,

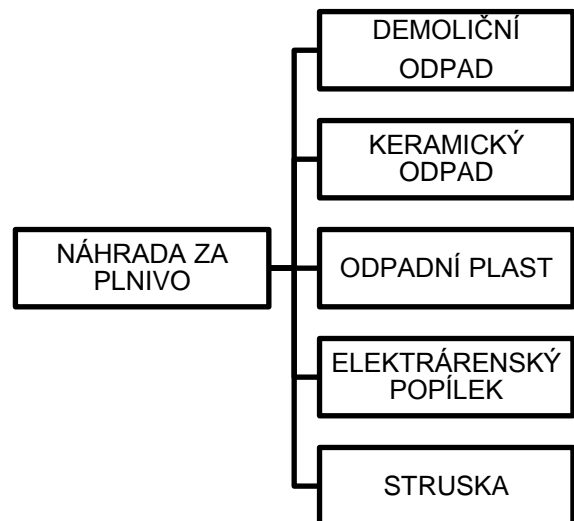
cihelná a betonová drť z demoličních prací, plastové a skleněné vedlejší produkty apod.

3. 4. 1 Typy alternativních surovin

Odpad z průmyslové výroby vhodný pro další použití, které je možno použít při výrobě stavebních hmot jako náhradní suroviny lze rozdělit podle toho, jakou fází zastupují. Jedná se především o náhradu pojiva, plniva, případně kombinaci těchto dvou možností. Přehled alternativních surovin, které jsou popsány v této práci, je znázorněn ve schématech níže.



Obr. 4: Náhrada za pojivo



Obr. 5: Náhrada za plnivo

3. 4. 2 Druhotné suroviny jako pojivo

Vzhledem k tomu, že je produkováno velké množství odpadu především z průmyslu, je potřebné tyto suroviny znovu využívat. Níže jsou popsány vybrané druhy alternativních surovin, které mohou být použity při výrobě malt a mohou částečně nebo celkově nahradit pojivovou složku kompozitu.

3. 4. 2. 1 Skelný odpad

WGP (Waste glass powder), WGC (Waste glass cullet) – Vedlejší surovina jako je odpadní skelný prášek a skleněné střepy.

Ve studii v Portugalsku [17] se autoři zabývali vlivem náhrady části pojiva (cementu) za skelný odpad. Odpad využili převážně z čelních skel automobilů, a pomlel se 48 hodin v kulovém mlýně v laboratoři. Jemnost mletí skla se téměř ztotožňovala s křivkou zrnitosti CEM I 42,5 R. Pro porovnání rozdílů vlastností, nahradili část cementu skelným práškem a také křemičitým úletem. Jako referenční směs se namíchala malta s portlandským cementem CEM I 42,5R, jako plnivo se použil normalizovaný písek CEN.

Míchaly se 4 směsi, a to malta se 100 % cementu, dále směs s 10% a 20 % odpadního skla a s 10 % křemičitých úletů. Plnivem byl písek CEN a přísadou superplastifikátor Viscocrete 3000.

Byly provedeny zkoušky zpracovatelnosti, pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu. Na hmotách se zjišťoval také obsah chloridů, míra karbonatace, riziko expanze při alkalickokřemičité reakci a nasákavost, jako ukazatele trvanlivosti malty.

Ukázalo se, že přidáním odpadního skla se zlepšila zpracovatelnost malty, ale naopak přidáním křemičitých úletů se zpracovatelnost snížila.

Po provedení zkoušky sledující kapilární absorpci se zjistilo, že malty s použitím skelného odpadu mají téměř stejnou nasákavost jako malta referenční, ale aplikací křemičitých úletů se nasákavost mírně snižuje. To ukazuje na to, že se nemusíme obávat vyšší nasákavosti malty nebo betonu po přidání skla.

Hloubka karbonatace se sledovala v intervalu 2 a 4 měsíců a nejnižší hodnota karbonatace v obou časech se ukázala u malty referenční.

Zkouška na obsah chloridů ukázala, že malty s použitím odpadního skla i křemičitých úletů vykazují příznivější (nižší) obsah chloridů než malta referenční. Při aplikaci až 20 % skelného odpadu se snížil obsah chloridů až o 50 %.

Zkoušením pevností v tlaku a tahu za ohybu bylo v této studii prokázáno, že nahrazením části cementu odpadním sklem nebo křemičitými úlety se pevnosti jen nepatrně snižují, což je téměř zanedbatelné. Pevnosti v tahu za ohybu se průměrně pohybují kolem hodnoty 7 MPa. Pevnosti v tlaku po 7 dnech

se pohybují v rozmezí 30 – 40 MPa a při zkoušení vzorků po 28 a 180 dnech se pohybuje hodnota pevnosti v tlaku kolem 50 až 60 MPa.

Výsledky získané autory [17] při zkoušení malt kvůli možné expanzi při alkalickokřemičité reakci (ARS) ukázaly, že použití skelného prášku velmi příznivě snižuje rozpínání z důvodu ARS i přes vyšší obsah alkálií.

V této studii autoři prokázali, že nahrazení části cementu za odpadní sklo působí ve většině vlastností příznivě a tento odpad lze bez větších problémů používat do malt a betonů.

Podle studie [18], která byla věnována vyhodnocení vlastností čerstvých cementových malt obsahující WGP (náhrada cementu), použití WGP má za následek snížení hydratačního tepla v rámci prvních 30 minut hydratace a prodloužení doby tuhnutí. Nicméně lze předpokládat, že v případě, že velikost částic WGP se sníží na stejnou velikost jakou má cement, zpracovatelnost a tuhnutí WGP modifikované malty jsou podobné jako u kontrolní malty. Z tohoto důvodu, pokud jde o vlastnosti čerstvé malty, je možné vyrobit i architektonické malty obsahující WGP a WGC.

Česká firma Recifa používá skelnou moučku pro výrobu pěnového skla Refaglass. Skelná moučka je produktem mletí barevných skleněných recyklovaných střepů. Mele se v kulovém mlýně na frakci pod 90 mikrometrů a dováží se v cisternách na sypké hmoty. Vlhkost má nižší než 1 % a obsahuje 71 % SiO₂ [34].

3. 4. 2. 2 Elektrárenský popílek

Autoři ve studii [19] se zabývali vlivem nahrazení cementu elektrárenským popílkem v tradičních maltových a betonových směsích. Jejich práce je souhrnem poznatků z několika studií a vyhodnocení vlivu použití popílku v maltách, betonech apod.

Sledovaly se parametry jako je teplota a stupeň hydratace, konzistence, absorpce vody, průnik chloridů, segregace a krvácení betonu, dále objemová hmotnost, pevnost v tahu za ohybu a v tlaku, odolnost proti oděru, smršťování, odolnost proti mrazu.

Výsledkem je zjištění, že použití elektrárenského popílku v maltách snižuje teplo hydratace a objemovou hmotnost, zároveň pozitivně potlačuje krvácení

směsi a segregaci jemných částic. Popílek také zvyšuje zpracovatelnost a prodlužuje dobu tuhnutí. Jako negativní vlastnost se projevilo snížení pevností a odolnosti proti oděru. Pevnost a odolnost proti oděru klesá s rostoucím obsahem popílku ve směsi. Při zkoumání odolnosti proti mrazu se neprojevily žádné markantní odchylky a lze konstatovat, že popílek nesnižuje odolnost proti zmrazovacím cyklům. S rostoucím obsahem popílku se snižuje smrštění a hodnota pH dané směsi. Začlenění elektrárenského popílku do matrice způsobilo vyšší pórovitost a nasákavost, ale snížilo propustnost a průnik chloridových iontů, což může zlepšit trvanlivost kompozitu na bázi cementu. Autoři také zkoumali vliv aplikace křemičitých úletů a strusky a došli k závěru, že kombinací elektrárenského popílku, křemičitých úletů a strusky v cementové matrici, dojde ke zlepšení odolnosti proti oděru, navýšení pevnosti v tlaku a požární odolnosti.

3. 4. 2. 3 Zemědělské odpadní produkty

Ve studii [20], která se zabývá alternativními surovinami pro výrobu cementu a pro náhradu paliv při jeho výrobě, bylo zjištěno následující. Popílek ze zemědělských odpadů, který má vlastnosti pucolánových materiálů, může být použit jako náhrada cementu v množství okolo 10 %. Vedlejší produkty rostlinného původu jako jsou rýžové slupky a ječmenné plevy, vylisována stébla cukrové třtiny a kukuřičné palice po spálení obsahují určité množství oxidu křemičitého a tento zbytek, popílek s obsahem SiO_2 , může být smíchán s portlandským cementem. Výroba takového cementu ukázala ekologické, ekonomické a technické výhody – snižuje spotřebu slínku.

3. 4. 2. 4 Křemičitý úlet

Vlivem obsahu křemičitých úletů v cementové maltě se zabývali autoři ve studii [21]. Ta zkoumala působení křemičitých úletů a popílku na vlastnosti malty. Obsah křemičitého prášku byl v rozmezí 0 – 10 % z hmotnosti cementu. Míchalo se několik směsí i s obsahem popílku a vyhodnocovaly se parametry, jako je zpracovatelnost a pevnost v tlaku. Výsledky testů ukazují, že částečná náhrada cementu popílkem do 30 % zvýšila zpracovatelnost a nepatrně i pevnost malty. Použití křemičitého úletu snižuje zpracovatelnost čerstvé malty,

a tak vyžaduje přidání superplastifikátoru pro zlepšení zpracovatelnosti. Celkově nahrazení cementu popílkem do 30 % nebo křemičitými úlety do 10 % z hmotnosti cementu nebo směsí obou látek radikálně neovlivňuje vlastnosti zatvrdlé malty z pohledu pevnosti. Proto mohou být použity jako náhrada cementu.

V další studii [22] bylo sledováno vlivu různých podmínek při vytvrzování maltových trámečků pro zkoušky pevnosti v tlaku a posouzení změny smrštění. Vzorky byly vystaveny laboratorním podmínkám, další byly uloženy ve vodní lázni o teplotě 25 °C, 40 °C a 60 °C. S rostoucím obsahem křemičitých úletů mírně rostla i pevnost v tlaku a směs, která obsahovala 10 % křemičitých úletů, ve všech podmínkách pro vytvrzování, vykazuje vyšší pevnost v tlaku než kontrolní směs nebo směsi s nižším obsahem úletů. Smrštění se s obsahem křemičitých úletů snižovalo vzhledem k narůstající teplotě při tvrdnutí malty. Jen směs s 10 % křemičitých úletů vykazovala smrštění vyšší než u kontrolní směsi.

3. 4. 2. 5 Odpady z výroby kameniva

Odpadem z výroby kameniva, jako je například mramorová moučka, se zabývali autoři ve studii [23, 24] a zjišťovali, zda je výhodné tento odpad použít do betonu nebo cementových malt. Mramorová moučka je vedlejším produktem při zpracování mramoru a je produkována ve velké míře, proto je výhodné ji využívat, jako alternativní surovinu. Jedná se o pomletou mramorovou drť (frakce 0,1 – 0,5 mm) použitou jako částečnou náhradu za cement. Substituce mramorovou moučkou bylo provedeno v množství z 5 %, 7,5 % a 10 % hmotnosti cementu a náhrada cementu mramorovou suspenzí z 10 %, 15 %, 20 %, 25 % (při různém vodním součiniteli).

Experimentálně se zkoušely vlastnosti pro čerstvé i ztvrdlé malty. Zjišťovaly se objemové hmotnosti, konzistence, mechanické pevnosti apod. Ukázalo se, že použitím mramorové moučky v betonových nebo maltových směsích, dostáváme vhodné vlastnosti pro použití. Substitucí mramoru se sice snižuje konzistence čerstvé směsi, to však lze vyřešit pomocí plastifikačních přísad. Dále s rostoucím obsahem mramoru se oddaluje počátek tuhnutí, což je výhodné pro prodloužení doby zpracovatelnosti. Také s rostoucím obsahem substituce klesá obsah vzduchu v čerstvé směsi a také klesá smrštění zatvrdlého malty.

Objemová hmotnost čerstvé směsi se pohybuje kolem $2350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. S rostoucím vodním součinitelem klesají mechanické pevnosti zatvrdlé malty. Pevnosti v tlaku se pohybují v hodnotách 30 MPa a pevnost v tahu za ohybu kolem 7 MPa. Ze všech výsledků lze však říci, že mechanické vlastnosti se velmi podobají hodnotám pro kontrolní maltu bez mramorové moučky.

3. 4. 3 Druhotné suroviny jako plnivo

Níže jsou popsány vybrané druhy alternativních surovin, které mohou být použity při výrobě malt, jež mohou částečně nebo celkově nahradit složku plniva kompozitu.

3. 4. 3. 1 Demoliční odpad

CDW (Construction and demolition waste) – konstrukční a demoliční odpad je jedním z vedlejších produktů celosvětového stavebního průmyslu, jež lze recyklovat a znovu použít jako alternativní surovina při výrobě stavebních hmot např. malt, betonů apod. Recyklace těchto odpadů není ani tak důležitá z hlediska nebezpečnosti, jako kvůli jejich značnému množství, které představuje významnou část celkové produkce pevných odpadů na světě. Některé normy umožňují úplnou nebo částečnou substituci normalizovaného kameniva hrubým recyklovaným kamenivem při výrobě nového betonu. Nicméně většina standardů neumožňuje náhradu jemného přírodního kameniva za jemné recyklované kamenivo, protože takový beton nebo malta nedosahují optimálních vlastností. Zejména velká spotřeba záměsové vody (vysoký vodní součinitel) v čerstvé směsi způsobila problémy při zpracovatelnosti (např. tzv. krvácení betonu – bleeding). Při zpracování hrubého recyklovaného kameniva vzniká, jako vedlejší produkt jemná frakce, což představuje velké množství hmotnosti drceného konstrukčního a demoličního odpadu. Směrnice 2008/98 / ES Evropského parlamentu stanovuje, že země Evropské unie by měly dosáhnout minimální míry recyklace 70 % hmotnosti u stavebního a demoličního odpadu (CDW), v roce 2020. [25]

Ve studii [25] byla analyzována maltová směs s částečnou náhradou standardizovaného písku recyklovaným pískem (jednalo se o písek vyroben

recyklováním demoličního odpadu (na frakci 0 – 4 mm, ale zastoupení frakce 0 – 2 mm bylo téměř 100%)). Cílem bylo zjistit, zda promývání a prosévání mohou zlepšit kvalitu tohoto recyklovaného písku. Analýza potvrdila zvýšení pevnosti v tahu za ohybu malty vyrobené s tímto promývaným recyklovaným pískem. Dále se zkoumaly změny mechanických vlastností a zpracovatelnost. Z výsledků experimentů je zřejmé, že s rostoucím obsahem nepromývaného písku se snižuje pevnost v tlaku i v tahu za ohybu. Kvůli pórovitému povrchu kameniva dochází k velké spotřebě záměsové vody a tím ke snížení kvality malty. Malty vyrobené s 50 % recyklovaného písku a s přidáním superplastifikátoru ukázaly snížení pevnosti v tlaku a pevnosti v ohybu přibližně o 9 %, současně vzrostl modul pružnosti asi o 10 % ve srovnání s maltami se standardním pískem. Nejlepší řešení pro maltové směsi vyrobené s recyklovaným kamenivem bylo získáno při použití 50 % recyklovaného kameniva a 1 % superplastifikátoru. Toto řešení vykazuje téměř stejnou pevnost v tlaku i pevnost v tahu za ohybu jako u malt s pískem CEN.

Další autoři ve studii [26] se zaměřili na využití demoličního odpadu z třípatrové knihovny, 50 let staré. Po demolici a následném roztřídění různých materiálů, ze kterých byla knihovna postavena, provedli výzkum zaměřený na použití betonového odpadu, jako náhrady za kamenivo v maltách a betonech. Materiál se rozdrtil čelistovým drtičem na frakce 0 – 4,5 mm, 4,5 – 10 mm a 10 – 20 mm a následně se pomlel. Na maltách se testovaly mechanické vlastnosti, objemové hmotnosti, konzistence a nasákavost. Konzistence metodou sednutí kužele se oproti referenční maltě projevila snížením hodnoty sednutí tzn., že se zhoršila zpracovatelnost. Pohybovala se v hodnotách 45 – 60 mm. Ukázalo se,

že s přibýváním obsahu odpadu ve směsi se objemová hmotnost snižuje až o 6% při 100% náhradě přírodního kameniva. Nasákavost se oproti kontrolní maltě mírně zvýšila. Pevnosti v tlaku s různým obsahem odpadu se pohybovaly v podobných hodnotách, nejvyšší pevnost v tlaku však vykazovala směs s 25 % recyklovaného kameniva, a to 42 MPa. Kontrolní malta měla pevnost 38 MPa. Pevnost v tahu za ohybu klesala s rostoucím obsahem recyklovaného kameniva.

Z výsledků experimentů by lze říci, že nejlepších výsledků dosáhla směs s 25 % jemného recyklovaného kameniva.

3. 4. 3. 2 Keramický odpad

Keramickým odpadem vhodným pro použití při výrobě malt může být keramická střešní krytina, keramické tvarovky, sanitární keramika, kanalizační trouby, atd.

3. 4. 3. 2. 1 Sanitární keramika

Autoři studie [27], zaměřené na využití různých typů keramických odpadů, aplikovali prášek ze sanitární keramiky jako aktivní příměsi do materiálu na bázi portlandského cementu. Většina z nich se zabývá jejich vlivem na vlastnosti výsledné malty nebo betonu, pokud je použit jako náhrada přírodních plniv. Byly zkoumány vlastnosti malt, které obsahují frakci 0 – 0,6 mm pomleté sanitární keramiky při částečném nahrazení přírodního kameniva. Výsledky studie [27] odhalily, že nahrazení přírodního kameniva sanitární keramikou zlepšuje až o 25% tlakové a tahové pevnosti. Autoři [27] rovněž prokázali, že keramické částice neohrožují průběh hydratace cementu. Navíc vnitřní přechodová zóna mezi cementovou maticí a recyklovaným kamenivem je kompaktnější a méně porézní v porovnání s použitím přírodního kameniva. Může se také zlepšit odolnost vůči působení agresivních vlivů. Zkouška hloubky průniku vody pod tlakem v maltě s kamenivem ze sanitární keramiky je na stejné úrovni jako referenční malta s přírodním kamenivem.

Experimentální míchání a zkoušení malty s částečnou náhradou plniva sanitární keramikou bylo provedeno polským výzkumným střediskem, publikováno ve studii [27]. Výsledky zkoušek v této studii uvádí vyšší spotřebu vody pro dosažení požadované konzistence při použití keramického prášku jako náhrady za část plniva. Čím bylo vyšší procentuální zastoupení keramiky, tím se zpracovatelnost zhoršovala, avšak pevnost v tahu za ohybu a v tlaku vzrostla a zároveň docházelo k menšímu smrštění. Podle výsledků této studie lze říci, že namletá sanitární keramika má vhodné vlastnosti pro použití jako náhrady kameniva v množství 20 % v cementové maltě.

3. 4. 3. 2. 2 Odpad z keramických tvarovek

Více než polovina všech stavebních a demoličních odpadů v rámci Evropské unie je přiřazena odpadu ze zdiva, který se skládá hlavně z keramických cihel a malty. V Portugalsku se tímto tématem zabývá studie [28], která řeší využití keramického odpadu jako náhrady jemného kameniva v maltách. Byl analyzován maximální možný obsah recyklovaného keramického písku při zachování nebo zlepšení důležitých vlastností pro malty. Sledovány byly parametry, jako je objemová hmotnost čerstvé a zatvrdlé malty, obsah vzduchu a zpracovatelnost čerstvé malty, dále pevnosti, smrštění a kapilární absorpce u zatvrdlých malt. Jako recyklovaného kameniva se používalo namletých keramických cihel, na jejichž povrchu se nacházely také zbytky malty pro zdění nebo části omítek. Frakce byla 0 – 4 mm a bylo namícháno 5 směrů pro zkoušení. Obsah recyklovaného písku v jednotlivých záměsích byl 0 %, 25 %, 50 %, 75 % a 100 % z obsahu přírodního písku. Malty byly namíchány s konstantním obsahem plastifikační přísady a záměsové vody potřebné k dosažení konzistence 175 ± 10 mm.

Výsledky experimentů vykazují s rostoucím obsahem keramického písku poměrně velký pokles objemových hmotností, jak v čerstvé, tak v zatvrdlé maltě průměrně o $300 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ z důvodu nižší objemové hmotnosti recyklovaného kameniva. S rostoucím obsahem náhrady přírodního písku obsah vzduchu v čerstvé směsi klesá o ± 4 %. Doba zpracovatelnosti lineárně klesá až o 120 minut, z hodnoty 220 minut se dostává na hodnotu 100 minut při 100% nahrazení přírodního písku. Pevnosti zatvrdlé malty se po 28 dnech mírně snižují. Čím je vyšší obsah recyklovaného písku, tím je nižší pevnost, a to jak v tlaku, tak i v tahu za ohybu. Pevnost v tlaku se postupně snižuje z 12 MPa (u malty kontrolní) na 8 MPa (u malty se 100 % recyklovaného písku). Pevnost v tahu za ohybu se pohybuje v rozmezí 2 – 4 MPa. Pevnosti naměřené po 28 a 90 dnech se však zase zvyšují. Obsah vlhkosti ve stáří 28 dnů se s rostoucím obsahem keramického písku zvyšuje z 2 % na 5 % a také kapilární absorpce vody roste. Toto může být omezením pro použití malty ve venkovním prostředí. Smrštění postupně roste s vyšším obsahem recyklovaného agregátu. Přídržnost malty nepatrně klesá z hodnoty 0, 40 MPa na 0, 35 MPa.

3. 4. 3. 2. 3 Odpad z keramických kanalizačních rour

Ve studii [29] je pojednáváno o vlivu využití keramického recyklovaného kameniva z ventilačních rour (frakce 0 – 2 mm) na vlastnosti malty pro zdění. Malty byly vyrobeny s obsahem recyklovaného kameniva ve směsi v procentech nahrazení přírodního písku 20 %, 35 %, 50 %, 70 % a 100 %. Všechny vzorky byly uloženy po dobu 28 dnů při standardních laboratorních podmínkách. Byly zkoumány vlastnosti, jako je objemová hmotnost čerstvé i zatvrdlé malty, pevnosti, koeficient kapilární absorpce a smrštění u zatvrdlé malty.

Experimenty ukazují s rostoucím obsahem recyklovaného kameniva snížení obou objemových hmotností, průměrně pokles dosahuje hodnoty $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Projevuje se velká spotřeba vody kvůli vyšší nasákavosti recyklátu a dále nárůst pevností. Pevnost v tahu za ohybu se zvyšuje s rostoucím obsahem recyklátu od 1,5 do 2,6 MPa. Pevnost v tlaku roste z 5 MPa na 8,5 MPa. Koeficient kapilární absorpce klesá o 25 % bez ohledu na množství substituce recyklátu. Při porovnání se smrštění pohybuje v podobných hodnotách jako u kontrolní směsi, ale jen do obsahu substituce 50 % z křemičitého písku. Čím bylo v maltě více recyklovaného kameniva, tím bylo vyšší smrštění zatvrdlé malty z důvodu odpaření přebytečné vody od zvýšené nasákavosti keramického materiálu. Studie ukazuje, že použití keramického recyklovaného kameniva s vhodnou velikostí částic a bez nečistot je vhodné jako náhrada přírodního kameniva pro výrobu zdicí malty.

3. 4. 3. 3 Odpadní plast

Recyklace plastového odpadu za účelem použití do nových kompozitních materiálů, jako je beton nebo malta, se jeví jako jedno z nejlepších řešení pro likvidaci plastových odpadů, vzhledem k hospodářskému a ekologickému užítku. Studie [30] zkoumá rozdílné vlastnosti cementových kompozitů, které obsahují různé typy plastových odpadů jako kamenivo nebo vlákno. Jedná se o souhrn informací z mnoha experimentů a podobných studií, které se tímto tématem zabývají.

U malt vyrobených s částečnou náhradou přírodního kameniva recyklovaným odpadním plastem se sledovaly zejména parametry jako je zpracovatelnost, objemové hmotnosti, obsah vzduchu v čerstvé maltě, dále mechanické vlastnosti

atd. Z výsledků mnoha studií zaměřených na zjištění zpracovatelnosti nelze jednoznačně potvrdit, zda plastové kamenivo zpracovatelnost snižuje nebo zvyšuje. Tento parametr je velmi závislý na druhu, tvaru a velikosti použitého náhradního kameniva. Kamenivo, které je porézní nebo vločkovitého tvaru zpracovatelnost snižuje, zatímco kulovitý tvar zrna zpracovatelnost naopak zvyšuje. Další sledovaný parametr byl objemová hmotnost čerstvé a zatvrdlé malty. Bez ohledu na tvar a velikost zrn, malty s plastovým kamenivem vykazují nižší hodnoty objemových hmotností, což je výhodné z důvodu vylehčení této malty. Další sledovanou vlastností byla tepelná vodivost. Projevila se hodnotou tepelné vodivosti o 50 % nižší než u kontrolní malty maltou. Tento výsledek je dosažen především z důvodu nižší tepelné vodivosti plastového agregátu oproti křemennému písku což se projevuje výbornými tepelně izolačními vlastnostmi. Bez ohledu na typ plastu a množství substituce, použití plastového agregátu snižuje pevnosti výsledné malty. To je způsobeno zejména velmi nízkou vazebnou silou mezi povrchem plastových částic a cementovou pastou. V porovnání s kontrolní směsí došlo až o 72% snížení pevnosti v tlaku u malty připravené nahrazením přírodního kameniva 80 % kameniva z plastového odpadu. Náhradou 50 % objemu písku došlo ke snížení pevnosti v tlaku pouze o 16%. Hodnoty pevností v tlaku jsou závislé na použití rozdílných typů plastových odpadů, na jejich velikosti i tvaru.

3. 4. 3. 4 Elektrárenský popílek

Studie [31] se zabývala vlivem náhrady kameniva za popílek. Jednalo se až o 100% náhradu kameniva. Sledovaly se vlastnosti jako je zpracovatelnost, objemová hmotnost, pevnosti v tlaku a v tahu za ohybu a smrštění.

Výsledky ukázaly, že celkovým nahrazením kameniva popílkem dochází k výraznému snížení zpracovatelnosti, až o 13,4 %. Čím byl vyšší obsah popílku ve směsi, tím byla horší zpracovatelnost. Náhrada popílku za kamenivo ovlivňuje objemovou hmotnost u zatvrdlé malty a to tak, že s vyšším podílem popílku v maltě objemová hmotnost klesá. Zkoušky ukázaly rozsah hodnot objemové hmotnosti v rozmezí $2320 - 1470 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vlivem obsahu popílku. To znamená, že 100% nahrazením kameniva popílkem klesne objemová hmotnost o 36,6 %. Tento jev je výhodný z pohledu odlehčení konstrukčních

prvků vyrobených z takovéto malty/betonu. Zkoušením pevností se zjistilo, že čím je vyšší obsah popílku v maltě, tím se pevnosti snižují. Pevnost v tlaku po 28 dnech se pohybovala v rozmezí 39,55 – 12,10 MPa. 100% nahrazením kameniva popílkem se snížila pevnost v tlaku až o 73,1 %. Pro využití malty jako konstrukční malty je potřeba pevnosti v tlaku 20 MPa, což splňuje náhrada popílkem v max. 70 % hmotnosti kameniva. Pevnost v tahu za ohybu klesá obdobně, jako pevnost v tlaku, pohybuje se v rozmezí 5,5 – 1,0 MPa. Ačkoli popílký snižují modul pružnosti, zvyšují deformační kapacitu malty. S přidáním popílku se snižuje smrštění, také se zpomaluje tvorba trhlin a šířka smršťovacích trhlin klesá.

3. 4. 3. 5 Struska vysokopecní a z obloukových pecí

Studie [32] se týká využití strusek jako náhrady za přírodní kamenivo pro výrobu zdicích malt. Byla použita směs strusky vysokopecní a strusky z elektrických obloukových pecí. Bylo namícháno a zkoušeno 20 směrů s různými poměry jednotlivých složek. Jednalo se o 4 skupiny, které měly každá po 5 záměrů, lišících se obsahem strusky: 0 %, 25 %, 50 %, 75 % a 100 % z hmotnosti kameniva. Skupina, mimo skupinu první, měla navíc přísadu, a to plastifikátor Cimsil C22 nebo provzdušňovací přísadu (byly použity PremorterMix 201 a PremorterMix 202 pro 2 skupiny).

Při zjišťování objemové hmotnosti se došlo k výsledku, že s rostoucím obsahem strusky, jako náhrady za kamenivo, roste objemová hmotnost. Ale zároveň přidáváním přísad objemové hmotnosti klesají: nejnižší objemové hmotnosti dosahují malty poslední skupiny, kde se přidávala provzdušňující přísada PM 202.

Nejvyšší pevnosti v tahu za ohybu vykazuje první skupina malt s aplikací strusky, ale bez přísad, hodnoty pevnosti se pohybují okolo 5 MPa. V ostatních případech po přidání přísady klesla pevnost v tahu za ohybu na hodnotu okolo 2 MPa. Nejvyšší pevnosti v tlaku opět vykazuje skupina pouze s přídavkem strusky, hodnoty se pohybují kolem 12,5 MPa a po přidání přísad pevnost klesá na hodnoty okolo 7 MPa a dokonce přidáním MP 202 se pevnost v tlaku snížila až na 5 MPa (5 MPa je podle normy dostačující). Z dosažených výsledků lze usoudit, že u malt se struskou není nutné použít přísad, které sice výhodně

snižují objemovou hmotnost malty, ale mají nežádoucí účinky na pevnosti. Přídržnost se pohybuje v rozmezí 1,15 – 0, 13 MPa.

3. 4. 4 Vyhodnocení vlivu alternativních surovin na vlastnosti malt

Informace nashromážděné v rámci provedené rešerše podává následující Tab. 6, kde je uveden přehled vlastností, které jsou ovlivněny použitím alternativních surovin při výrobě malt.

Tab. 6 – Vliv použití alternativních surovin na vybrané vlastnosti malt

Surovina	Vodní součinitel	Konzistence	Objemová hmotnost	Nasákavost	Smrštění	Pevnost v tlaku	Pevnost v tahu za ohybu
Odpadní sklo	+ / 0	+	0	0	+	0 / +	0
Elektrárenský popílek	+	+	+	-	+	+	+
Zemědělské produkty	-	-	+	-	- / 0	- / 0	- / 0
Křemičitý úlet	-	-	0	+	+	0	0
Mramorová moučka	-	-	0	+	+	0	0
Demoliční odpad	-	-	+	-	-	+ / 0	-
Sanitární keramika	-	-	+	0	+	+	+
Odpad z keramických tvarovek	-	-	+	-	-	-	-
Odpad z kanalizačních rour	-	-	+	-	- / 0	+	+
Odpadní plast	0	0	+ / 0	-	- / 0	+	+
Struska	-	-	-	0	-	+	+

Pozn.: + znamená zlepšení vlastnosti, - znamená zhoršení vlastnosti, 0 znamená vlastnost podobná jako u referenční malty.

3. 4. 5 Trendy ve vývoji malt

Trendem ve vývoji malt je použití modifikovaných malt a aplikace druhotných surovin pro jejich výrobu. Vzhledem ke stále vyšším požadavkům na užitné vlastnosti a trvanlivost je dnes už běžné malty modifikovat např. polymerní přísadou. Navíc je třeba spotřebovávat druhotné suroviny, které jsou vhodnou náhradou pojiva nebo plniva malty.

Problematikou využití druhotných surovin se zabývá Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. Politika druhotných surovin – „Přeměna odpadů na zdroje“ je prvním dokumentem ČR, jenž vytváří strategii pro efektivní využívání druhotných surovin. Tento projekt reaguje na hospodářský vývoj v Evropě i ve světě, na změny světového trhu nerostných surovin a zveřejnění evropské strategie Raw Materials Initiative. Politika druhotných surovin se věnuje druhotným surovinám, jako jsou: kovy, plasty, sklo, papír, stavební a demoliční hmoty, vedlejší energetické produkty, pneumatiky, baterie a akumulátory, odpadní elektrická a elektronická zařízení a vozidla s ukončenou životností.

Při zaměření na výrobu malt lze vybrat určité cíle a úkoly, které jsou zahrnuty v Akčním plánu implementace politiky druhotných surovin ČR pro období 2017 – 2018. Cílem toho plánu je mimo jiné zvyšovat soběstačnost ČR v surovinových zdrojích substitucí primárních zdrojů druhotnými surovinami a to tak, že se projedná možnost uzavření dohody mezi výrobcí a dovozci plochého skla včetně výrobků z něj, plastových výrobků, pneumatik, odpadů z demolic a jiných stavebních činností o zajištění sběru a zpracování po ukončení jejich životnosti. Tím se získá z odpadu surovina vhodná pro použití do cementových kompozitů. Druhým cílem je podpora využívání druhotných surovin jako nástroje pro snižování energetické a materiálové náročnosti průmyslové a stavební výroby za současné eliminace negativních dopadů na životní prostředí. Řešením by mělo být mimo jiné zpracování katalogu druhotných surovin pro použití ve stavebnictví, navržení pokynu o možnostech a způsobech využívání druhotných surovin ve veřejných zakázkách a také zajištění přístupu k všeobecným informacím o těchto surovinách a jejich využití. Dalším cílem je iniciovat podporu vzdělávání pro zajištění kvalifikovaných pracovníků v oboru druhotných surovin a to tak, že vznikne nová profese v získávání, zpracování a využívání druhotných surovin. A posledním cílem je zpracování hmotnostní bilance druhotných surovin v hospodářství [39].

4 PRAKTICKÁ ČÁST

Po zpracování všech získaných informací z teoretické části, byly navrženy receptury pro malty s využitím alternativních surovin a ověřily se jejich vlastnosti. Bylo potřeba navrhnout receptury tak, aby se využily dostupné suroviny a zároveň, aby se spojily jejich výhodné vlastnosti při spolupůsobení s ostatními složkami malty.

4.1 Použité materiály

Vlastnosti materiálů použitých pro namíchání šesti druhů malt jsou popsány níže. Jedná se o cement, písek, skelný a keramický prášek a polymerní přísada. Složení testovaných malt je navrženo na 1 kg suchých složek a je zobrazeno v následující tabulce Tab. 7.

Tab. 7: Složení testovaných receptur

Vstupní složky		Označení testovaných malt					
		1 REF	S	SK	2 REF	SP	SKP
Cement CEM I 42,5 R	[g]	300	255	255	300	255	255
Skelný prášek (15 % z hmotnosti cementu)	[g]	/	45	45	/	45	45
Písek DTK 0 – 1 mm Žabčice	[g]	700	700	490	700	700	490
Keramický prášek (30 % z hmotnosti písku)	[g]	/	/	210	/	/	210
Voda	[ml]	160	160	180	160	160	180
VINNAPAS 5044 N	[g]	/	/	/	20	20	20

4.1.1 Cement

Jako pojivo se použil portlandský cement CEM I 42,5 R ze závodu Mokrý. Obsahuje 95 – 100 % portlandského slínku. Chemické složení je znázorněno v Tab. 8. Tento cement disponuje rychlým nárůstem pevností, vysokou počáteční i konečnou pevností a rychlým vývinem hydratačního tepla a jeho fyzikální a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v Tab. 9. Je vhodný pro použití ve všech prostředích podle stupňů vlivu prostředí, viz Tab. 10 [33].

Tab. 8: Chemické složení CEM I 42,5 R Mokrá

Složka	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Cl ⁻	K ₂ O	Na ₂ O	Ztráta žháním
Obsah [%]	64,2	19,5	4,7	3,2	1,3	3,2	0,047	0,78	0,09	3,3

Tab. 9: Fyzikální a mechanické vlastnosti CEM I 42,5 R Mokrá

Parametr	Průměrná hodnota	Metoda / poznámka
Pevnost v tlaku [MPa]	1 den	14
	2 dny	29
	7 dní	51
	28 dní	61
	56 dní	66
	90 dní	67
Pevnost v tahu za ohybu [MPa]	1 den	4
	2 dny	6
	7 dní	8
	28 dní	9
	56 dní	9
	90 dní	9
Normální konzistence [%]	27,7	ČSN EN 196 – 1
Počátek tuhnutí [min]	201	
Konec tuhnutí [min]	264	
Objemová stálost [mm]	0,8	ČSN EN 196 – 3, Le Chatelier
Měrný povrch [m ² ·kg ⁻¹]	381	ČSN EN 196 – 3, Blaine

Tab. 10: Stupně vlivu prostředí

Použití cementu dle stupňů vlivu prostředí podle ČSN EN 73 2404																		
Bez rizika	Koroze způsobena karbonatácí				Působení chloridů (ne z mořské vody)			Střídavé působení mrazu a rozmrazování				Chemicky agresivní prostředí			Obrus			
X	XC	XC	XC	XC	XD	XD	XD	XF	XF	XF	XF	XA	XA	XA	XM	XM	XM	
0	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	

4. 1. 2 Písek

Pro tuto práci byl použit písek z Pískovny Žabčice (frakce 0 – 4 mm) s objemovou hmotností $2600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, nasákovostí 1,3 %. Tento písek byl přesíván přes síto s velikostí otvoru 1,0 mm. Následně se provedl síťový rozbor frakce písku 0 – 1 mm, který je znázorněn křivkou zrnitosti v Grafu 1.



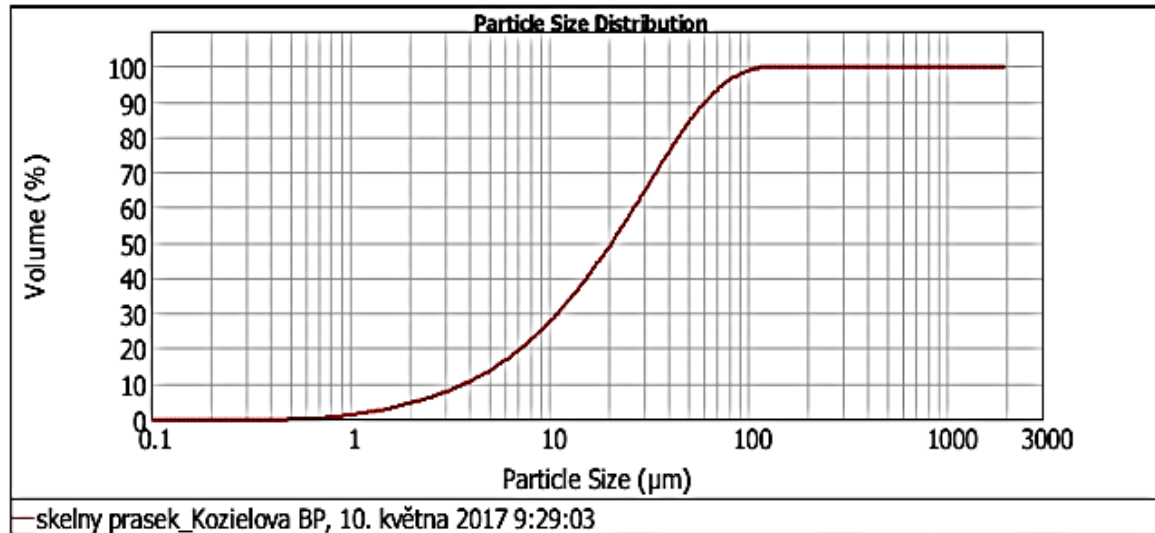
Graf 1: Křivka zrnitosti písku

4. 1. 3 Skelný prášek

Jako částečná náhrada cementu se použilo 15 % skelného prášku (moučky). Skelná moučka Refaglass je produktem české firmy Recifa. Skelná moučka je vyráběna mletím recyklovaných skleněných střepek a používá se pro výrobu pěnového skla, skelné vaty apod. Pucolánová aktivita je 830 mg $\text{Ca}(\text{OH})_2$ na 1 g pucolánu. Ze vzorku skelného prášku se provedla laserová zkouška granulometrie, jejíž výsledkem je křivka zrnitosti skelného prášku, která je znázorněna níže v Grafu 2. Chemické složení moučky je zobrazeno v Tab 11 [34].

Tab. 11: Chemické složení skelné moučky

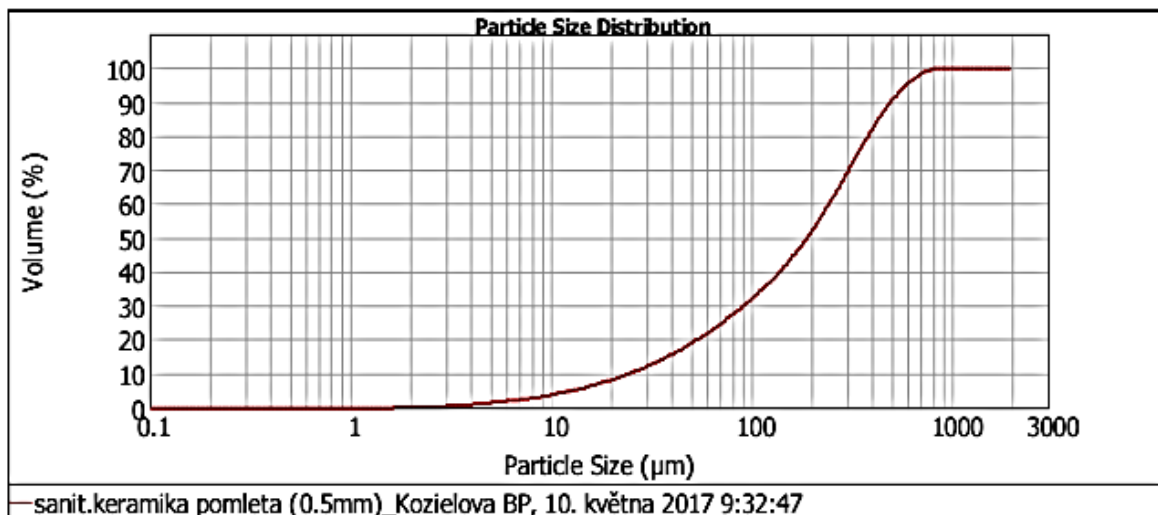
Chemické složení skelné moučky						
Oxidy	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2CO_3	K_2O
Obsah [%]	71,0	1,7 – 2,0	9,0 – 11,0	0,5 – 1,5	14,0 – 15,0	0,5



Graf 2: Křivka zrnitosti skelného prášku

4. 1. 4 Keramický prášek

Jako částečné náhrady písku se použilo 30 % keramického prášku, který byl získán pomletím starého umyvadla v planetovém mlýnu ve školní laboratoři a byl přesíván přes síto o velikosti otvoru 0,5 mm. Provedla se laserová zkouška granulometrie, jejíž výsledkem je křivka zrnitosti keramického prášku, která je znázorněna níže v Grafu 3.



Graf 3: Křivka zrnitosti keramického prášku

4. 1. 5 Polymerní přísada

Jako přísada byl použit, v množství 2 % z hmotnosti suchých složek, kopolymer vinylacetátu a etylenu s minerálními přísadami a ochranným koloidem s obchodním názvem VINNAPAS ® 5044 N (GER). Vyrábí jej německá firma Wacker Chemie AG v Mnichově. Tento kopolymer je bílé barvy, je částečně rozpustný ve vodě při 20 °C s pH 7 – 8, má sypanou hmotnost 400 – 550 kg · m⁻³ a rozkládá se při teplotách nad 250 °C. Používá se pro dosažení lepších vlastností, jako jsou přilnavost k povrchu, pevnost v tahu za ohybu a odolnost proti otěru [35].

4. 2 Provedené zkoušky

4. 2. 1 Stanovení konzistence čerstvé malty s použitím střešacího stolku

Tato zkouška se provedla podle normy ČSN EN 1015-3. Podstatou je velikost rozlití zkušební vzorku čerstvé malty [36].

Před zkouškou je zapotřebí navlhčit desku střešacího stolku a vnitřní povrch kovového kužele. Na střed desky se umístí kužel a plní se maltou ve dvou vrstvách, z nichž je každá hutněna 10 údery dusadla. Kužel musí být naplněn tak, aby bylo možné zahladit povrch malty špachtlí a přebytečnou maltu odstranit. Následně se kužel zvedne a malta se během následujících 15 zdvihů stolku rozlije. Průměr rozlitého koláče se měří ve dvou na sebe kolmých směrech. Vypočítá se průměrná hodnota a zaokrouhlí se na 1 mm [36].

4. 2. 2 Objemová hmotnost zatvrdlé malty

Objemová hmotnost je definována jako hmotnost materiálu se všemi dutinami a póry vztažena k objemu daného materiálu.

U jednotlivých zkušebních vzorků se zaznamenaly hmotnosti a rozměry. Z těchto hodnot se vypočítá objemová hmotnost zatvrdlé malty podle vzorce:

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

ρ ... objemová hmotnost [kg·m⁻³]

m ... hmotnost vysušeného vzorku [kg]

V... objem vzorku [m³]

4. 2. 3 Stanovení nasákavosti

Při stanovení nasákavosti se vycházelo z normy ČSN EN 12808-5 [37].

Po 27 dnech uložení trámečků ve vlhkém prostředí, se zkušební vzorky daly vysušit na 56 °C po dobu 24 hodin. Následně se boční strany vzorků utěsnily silikonem a po zaschnutí silikonu se zvážily a uložily se do nádoby, do které se nalila voda tak, aby dosahovala asi 1 cm výšky. Po 30 a 240 minutách od uložení do vody se zkušební trámečky zvážily. Následně se vypočítala nasákavost podle vzorce:

$$W_{mt} = m_t - m_d$$

W_{mt} ... nasákavost [g]

m_d ... hmotnost vzorku suchého [g]

m_t ... hmotnost vzorku po ponoření [g]

Pro lepší přehlednost je nasákavost přepočítána na % a v grafickém vyhodnocení jsou vyznačeny procentuální hodnoty nasákavosti.

4. 2. 4 Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a v tlaku

Pevnosti zatvrdlých malt se stanovily podle normy ČSN EN 1015-11 [38].

Jako první se provedla zkouška pevnosti v tahu za ohybu na tříbodovém přípravku v hydraulickém lisu a následně se na zlomcích trámečků provedla zkouška pevnosti v tlaku. Vždy se zaznamenala síla při porušení vzorku. Následně se pevnosti vypočítaly podle vzorců:

$$f_c = \frac{F_c}{A} \qquad f_t = \frac{2 \cdot F_t \cdot l}{3 \cdot b \cdot h^2}$$

f_c ... pevnost v tlaku [MPa]

A ... tlačná plocha (zde 1600 mm²) [mm²]

f_t ... pevnost v tahu za ohybu [MPa]

l ... vzdálenost podpor (zde 100 mm) [mm]

b ... šířka vzorku [mm]

h ... výška vzorku [mm]

4. 3 Vyhodnocení provedených zkoušek

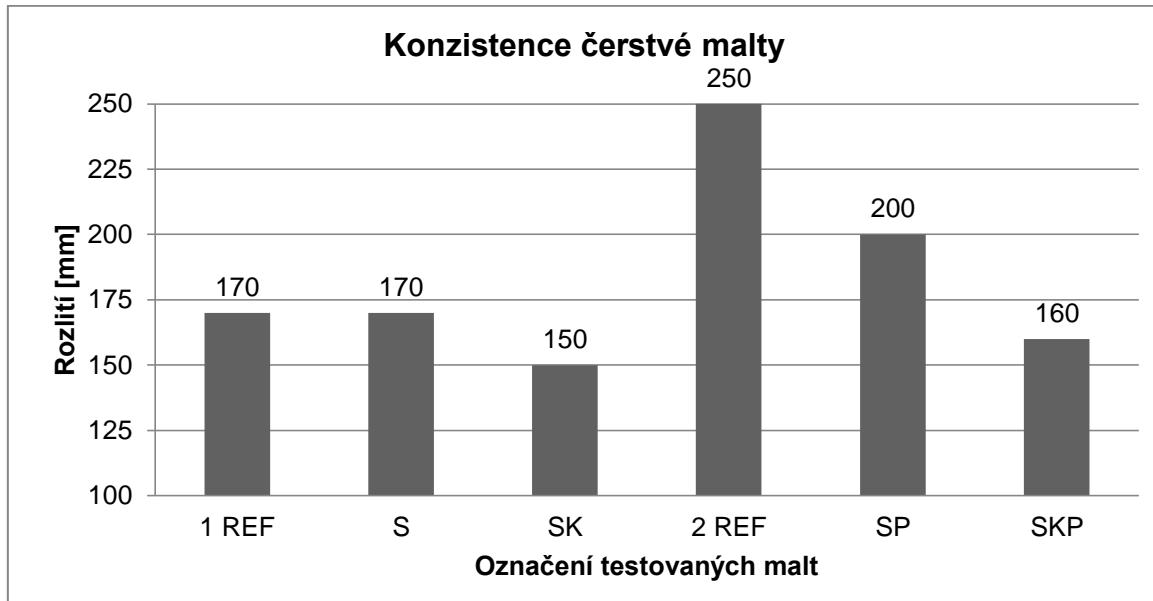
Vyhodnocení jednotlivých zkoušek je zobrazeno v Tab. 12, kde jsou uvedeny průměrné hodnoty pro jednotlivá stanovení.

Tab. 12: Parametry sledované u testovaných malt

Typ	Rozlití [mm]	ρ [kg·m ⁻³]	W_{mt30} [g]	W_{mt30} [%]	W_{mt240} [g]	W_{mt240} [%]	f_t [MPa]	f_c [MPa]
1 REF	170	1990	6,82	1,30	11,21	2,15	5,8	19,8
S	170	1980	6,63	1,28	11,32	2,16	5,5	21,7
SK	150	1890	7,92	1,60	13,70	2,60	3,9	17,7
2 REF	MAX	1910	4,67	0,90	7,97	1,63	4,7	23,4
SP	200	1830	3,25	0,70	6,09	1,16	5,7	19,7
SKP	160	1880	4,08	0,80	6,82	1,30	5,8	19,6

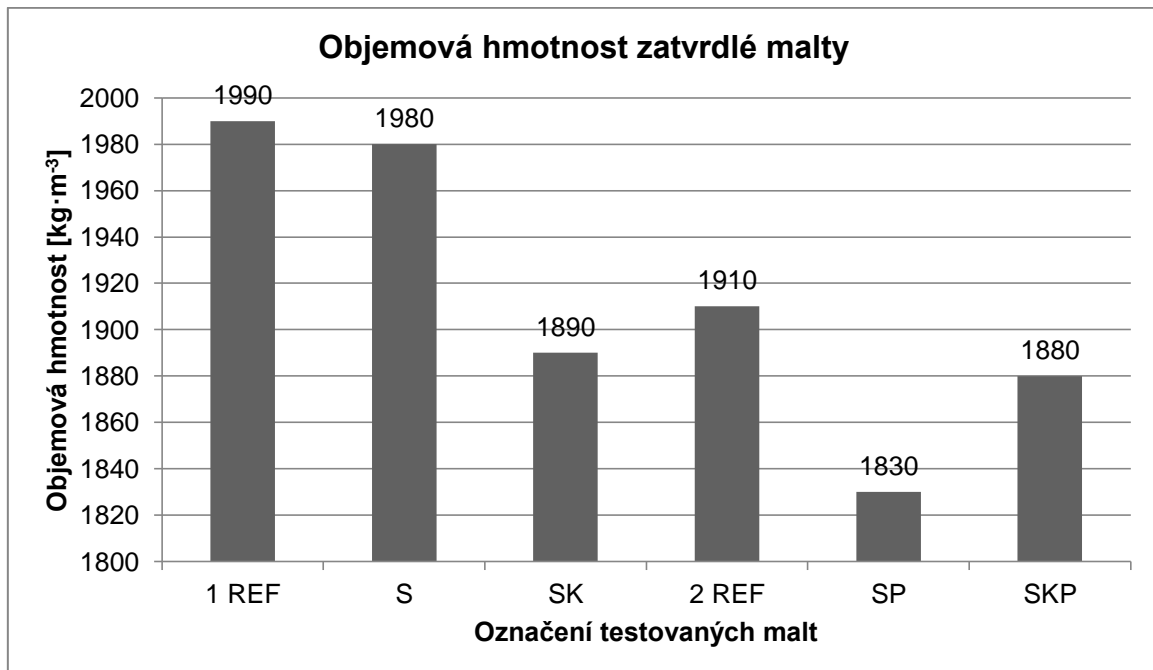
Pro přehlednější porovnání hodnot jednotlivých parametrů testovaných malt je níže uvedeno grafické vyhodnocení každé provedené zkoušky.

Konzistence čerstvé malty byla zkoušena metodou rozlití na střešacím stolku a hodnoty rozlití jsou zaznamenány v Grafu 4.



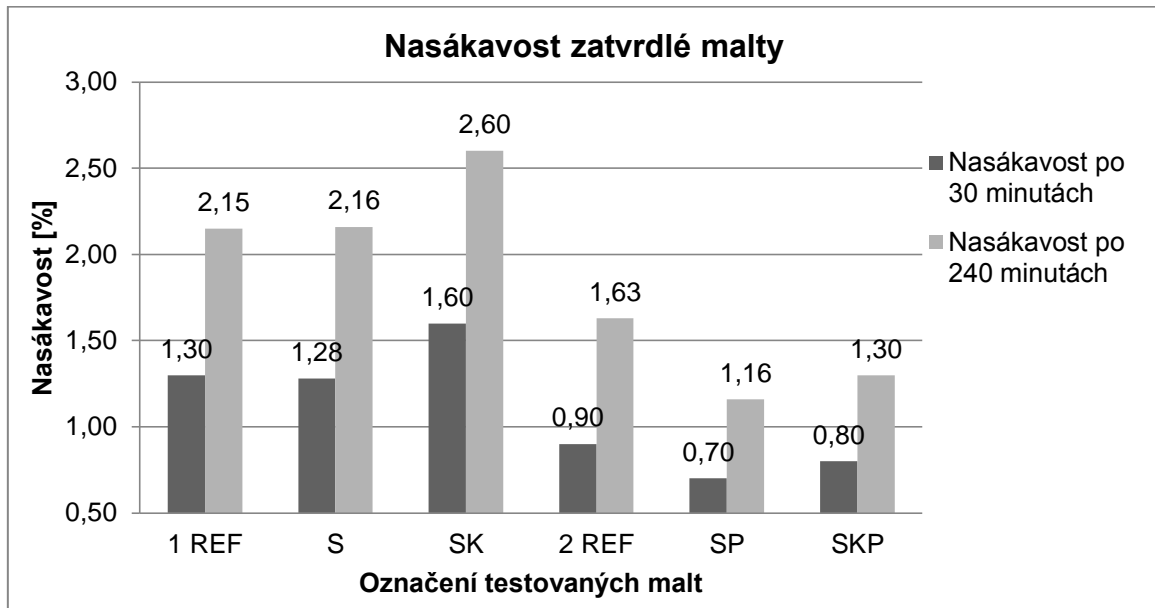
Graf 4: Konzistence čerstvé malty – rozlití

Objemová hmotnost zatvrdlé malty se stanovila z rozměrů a objemu zkušebního tělesa a tyto hodnoty jsou zaznamenány v Grafu 5.



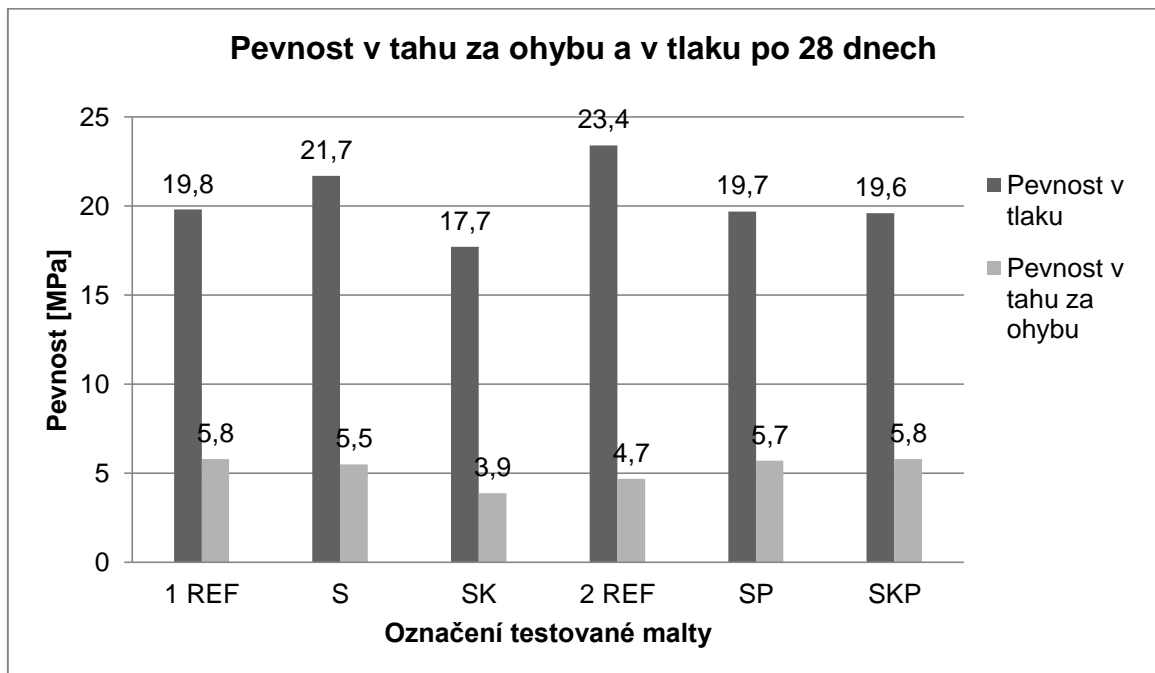
Graf 5: Objemová hmotnost zatvrdlé malty

Nasákavost zatvrdlé malty se zkoušela po 30 a 240 minutách a jednotlivé hodnoty jsou zobrazeny v Grafu 6.



Graf 6: Nasákavost zatvrdlé malty

Pevnost v tahu za ohybu a v tlaku se stanovovala na vysušených vzorcích po 28 dnech uložení a jejich hodnoty jsou znázorněny v Grafu 7.



Graf 7: Pevnost v tahu za ohybu a v tlaku zatvrdlé malty po 28 dnech

5 SHRnutí A DISKUZE VÝSLEDKŮ

Pro vyhodnocení vlivu použitých alternativních surovin na vlastnosti sledovaných malt bylo provedeno porovnání s referenčními maltami. Bylo namícháno 6 typů malt (rozděleno do 2 skupin malt – 3 malty s aplikací polymerní přísady v množství 2 % z hmotnosti suchých složek a 3 malty bez použití polymerní přísady). Malta 1 REF byla první maltou referenční bez použití alternativních surovin a bez polymerní přísady. Malta 2 REF byla druhou maltou referenční bez použití alternativních surovin, ale s aplikací 2 % polymerní přísady. Dalším typem byla malta S s náhradou cementu 15 % skelného prášku a malta SP s 15 % skelného prášku a 2 % polymerní přísady. Poslední dvojicí malt byly malty SK a SKP, které obsahovaly 15 % skelného prášku a 30 % keramického prášku a navíc malta SKP měla aplikovanou polymerní přísadu v množství 2 % z hmotnosti suchých složek.

Konzistence čerstvé malty zkoušená metodou rozlití na stříšacím stolku se projevila v první skupině malt bez přídavku polymerní přísady hodnotou okolo 170 mm, ale malta s označením SK (s použitím 30 % keramického prášku a 15 % skelného prášku) vykazovala rozlití jen 150 mm, a to s vyšším vodním součinitelem ($w = 0,18$) než malty bez keramického a skelného prášku ($w = 0,16$). To poukazuje na zhoršení reologických vlastností malty. U skupiny malt s přídavkem polymerní přísady je patrný nárůst hodnot pro rozlití. Malta s označením SKP (s použitím 30 % keramického prášku a 15 % skelného prášku a 2 % polymerní přísady) vykazuje opět menší rozlití. Při porovnání s autory [27], kteří se zabývali aplikací keramického prášku do malt, se prokazuje zhoršení konzistence a zvýšení vodního součinitele, jako u testovaných malt s obsahem keramického prášku v této práci. Autoři [17, 18], kteří se zabývali vlivem použití skelné moučky v maltách, se shodují na snížení nebo použití stejného vodního součinitele, jako u referenční malty. Aplikace skelného prášku tedy dle autorů [17, 18] zlepšuje zpracovatelnost, ale v testovaných maltách této práce se neprojevila tato vlastnost, protože hodnoty zpracovatelnosti u malty S (se skelným práškem a bez polymerní přísady) jsou stejné jako u 1 REF, u malty

SP (se skelným práškem a polymerní přísadou) je konzistence nižší než u malty 2 REF. Na zpracovatelnost čerstvé malty má také vliv jemnosti mletí surovin, protože použitím surovin s menším zrnem vyžaduje vyšší spotřebu vody.

Z výsledků po stanovení objemové hmotnosti lze vyčíst, že testované malty s polymerní přísadou mají nižší objemovou hmotnost než malty bez polymerní přísady a navíc malty s přídavkem obou alternativních surovin vykazují také nižší objemové hmotnosti. Malta se skelným práškem a polymerní přísadou má nejnižší objemovou hmotnost ($1830 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$). Aplikací keramického materiálu do malty bez použití polymerní přísady pozitivně snížilo objemovou hmotnost, ale nežádoucím jevem se stala vyšší nasákavost oproti referenční maltě. Objemová hmotnost se u malty SK (se skelným i keramickým práškem) snížila až o $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Výhodné snížení objemové hmotnosti se shoduje s výsledky studie [27], kdy díky náhradě plniva keramickým materiálem dochází ke snížení objemové hmotnosti. Oproti tomu autoři ve studii [17] neprokázali nárůst ani pokles objemové hmotnosti, při aplikaci skelné moučky do malty. Testované malty v této práci však vykazují snížení objemové hmotnosti s použitím skelného prášku v maltě.

Nasákavost skupiny malt s polymerní přísadou se projevila nižšími hodnotami než u malt, které jsou bez polymerní přísady. Použití skelného prášku má také vliv na nižší nasákavost malty. Aplikací keramického materiálu do malty dochází k nárůstu nasákavosti z důvodu možné vyšší nasákavosti samotného keramického střepu. U malty SK (se skelným i keramickým práškem) se nasákavost zvýšila o 0,45 % a vykazuje nejvyšší hodnotu ze všech nasákavostí 2,6 %. Studie [17, 18, 27] neprokázaly nárůst ani pokles nasákavosti malt s použitím druhotných surovin oproti nasákavosti malty referenční.

Pevnosti v tlaku se u všech testovaných malt pohybují okolo hodnoty 20 MPa. Nejnižší hodnotu (17,7 MPa) má malta s aplikací skelného i keramického prášku což může být ovlivněno pucolánovou reakcí, která je pomalejší než hydratace cementu. Proto je vhodné testovat pevnosti i starších vzorků, např. 90 denní, kdy můžeme očekávat v čase další vývin pevností. Nejvyšší pevnost v tlaku vykazuje malta referenční s polymerem, a to 23,4 MPa. Oproti hodnotám

testovaných malt v této práci studie [17, 18, 27] prokázaly nárůst pevnosti v tlaku při použití skelného a keramického prášku.

Pevnost v tahu za ohybu se pohybuje v rozmezí 3,9 – 5,8 MPa. Nejnižší hodnotu opět vykazuje malta s použitím skelného i keramického materiálu (3,9 MPa). Pevnost v tahu za ohybu se zvýšila pouze ve studii [27], kde se aplikoval jen keramický materiál jako část složky plniva. Hodnoty pro pevnost tahu za ohybu ve studii [17], s použitím skelného prášku se vyrovnávají hodnotám pro pevnost v tahu za ohybu u referenční malty.

6 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce byla zaměřena na využití alternativních surovin pro výrobu malt, speciálně na výrobu cementových malt.

Teoretická část se zabývala informacemi z historie maltovin, o obecném rozdělení malt a jejich použití, o vlastnostech jednotlivých složek pro výrobu malty a o výrobě samotné. Vzhledem k tomu, že tato práce je zaměřena na cementové malty, popisují se zde informace o složkách a míchání malty pro zkoušení cementu a o vlastnostech pro vnitřní a vnější omítky a maltu pro zdivo. Další kapitola představuje zpracování poznatků o alternativních surovinách pro výrobu cementových malt. Tato kapitola byla rozdělena do dvou skupin, a to alternativní suroviny jako náhrada pojiva a plniva (lze nahradit složky malty i kombinací částečné náhrady pojiva a plniva). Pro náhradu pojiva zde byly zpracovány informace pro suroviny, jako je skelný odpad, elektrárenské popílký, druhotné zemědělské produkty a vedlejší produkt z výroby kameniva. Pro náhradu plniva byly zpracovány informace pro produkty, jako jsou konstrukční a demoliční odpady, odpady z keramického materiálu (sanitární keramika, kanalizační trouby, tvarovky), struska, elektrárenský popílek, a plastové produkty. Výsledkem teoretické části je zpracování informací o vyhodnocení vlivu alternativních surovin pro výrobu cementových malt. Na základně toho jsou vybrány pro praktickou část dvě druhotné suroviny, a to skelný odpad (skelný prášek) a keramický materiál (namletá sanitární keramika).

V praktické části bylo připraveno 6 druhů malt (rozděleno do 2 skupin malt – 3 malty s aplikací polymerní přísady VINNAPAS 5044 v množství 2 % z hmotnosti suchých složek a 3 malty bez použití polymerní přísady). Malta 1 REF byla první maltou referenční bez použití alternativních surovin a bez polymerní přísady. Malta 2 REF byla druhou maltou referenční bez použití alternativních surovin, ale s aplikací 2 % polymerní přísady. Dalším typem byla malta S s náhradou cementu 15 % skelného prášku a malta SP s 15 % skelného prášku a 2 % polymerní přísady. Poslední dvojicí malt byly malty SK a SKP, které obsahovaly 15 % skelného prášku a 30 % keramického prášku a navíc do malty SKP byla aplikovaná polymerní přísada v množství 2 % z hmotnosti suchých složek.

Keramický prášek byl získán rozdrčením a pomletím starého umyvadla v planetovém mlýně. Skelný prášek je produktem firmy Recifa při výrobě pěnového skla. Jedná se o recyklované skelné střepy namleté v kulovém mlýně na granulometrii pod 90 mikrometrů. Při porovnání vlastností malt bez polymerní přísady s maltou referenční lze říci, že z pohledu důležitých vlastností (nejvyšších pevností, nejnižší nasákavosti) je nejlepší maltou směs S (s použitím 15 % skelného prášku). Dosahuje pevnosti v tlaku 21,7 MPa a nasákavosti 2,16 %. Ze skupiny malt s polymerní přísadou vykazuje nejlepší vlastnosti malta SP (s použitím 15 % skelného prášku a polymerní přísadou), ale její pevnost v tlaku je nižší (19,7 MPa) než pevnost referenční malty 2 REF (23,4 MPa). Nejvyšší pevnost v tlaku, 23,4 MPa, měla referenční malta s polymerní přísadou (2 REF). Nejnižší nasákavostí disponuje malta SP se skelným práškem a polymerní přísadou 0,6 % (30 minut) a 1,16 % (240 minut). Aplikace keramického materiálu do malty bez použití polymerní přísady pozitivně snížila objemovou hmotnost, ale nežádoucím jevem se stala vyšší nasákavost oproti referenční maltě.

Použitím 15 % skelného prášku jako náhrady cementu v maltě s přidáním polymerní přísady přináší vhodné vlastnosti, kterými jsou dobrá pevnost, nízká nasákavost, nižší objemová hmotnost. Aplikací 30 % keramického prášku jako náhrady písku do malty je docíleno dalšího snížení objemové hmotnosti, avšak na úkor zhoršení konzistence a potřeby zvýšení hodnoty vodního součinitele.

7 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *Vápno místo energeticky náročného cementu* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.adeptts.cz>
- [2] ROVNANÍKOVÁ, Pavla. *STAVEBNÍ POJIVA:: HISTORIE - SOUČASNOST - PERSPEKTIVY VÝVOJE*. Brno: VUTIUM, 2004. ISSN 1213-418X.
- [3] *Historie cementu a betonu* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.cemex.cz>
- [4] PŘIBYL, František a kol. *Stavební hmoty*. Brno: VUT. ISBN 80-214-1064-7.
- [5] *ČSN EN 998 – 1 ed.2: Specifikace malt pro zdivo – Část 1: Malta pro vnitřní a vnější omítky*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [6] *ČSN EN 998 – 2 ed.2: Specifikace malt pro zdivo – Část 2: Malta pro zdění*. Praha: Český normalizační institut, 2011.
- [7] SVOBODA, Luboš a kol. *STAVEBNÍ HMOTY*. Bratislava: Jaga group, 2005. ISBN 80-8076-007-1.
- [8] *ČSN EN 12004 + A1: Lepidla pro obkladové prvky – Požadavky, posuzování shody, klasifikace a označování*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [9] *ČSN EN 13888: Spárovací malty a lepidla pro keramické obkladové prvky - Požadavky, posuzování shody, klasifikace a označování*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [10] DROCHYTKA, Rostislav, Jiří DOHNÁLEK, Jiří BYDŽOVSKÝ a Václav Pumpr. *TECHNICKÉ PODMÍNKY PRO SANACE BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ TP SSBK II. 1*. Brno: BEKROS s. r. o, 2003. ISBN 80-239-0516-3.
- [11] *Injektážní malty* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.hermes-technologie.com>
- [12] *Stěrkové malty* [online]. [cit. 2017-03-25]. Dostupné z: <http://www.hermes-technologie.com>
- [13] *ČSN 732901 - Provádění vnějších tepelně izolačních kompozitních systémů (ETICS)*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [14] HELA, Rudolf. *Technologie betonu: Modul M 01*. Brno: ZŠ Brno, 2005.
- [15] *ČSN EN 196 - 1: Metody zkoušení cementu – Část 1: Stanovení pevnosti*. Praha: Český normalizační institut, 2016.

- [16] ČSN EN 1015-2 *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 2: Odběr základních vzorků malt a příprava zkušebních malt*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [17] MATOS, Ana Mafalda a Joana SOUSA-COUTINHO. *Durability of mortar using waste glass powder as cement replacement* [online]. [cit. 2017-03-25]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.027. ISBN 10.1016/j.conbuildmat.2012.04.027. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061812002292>
- [18] LU, Jian-xin, Zhen-hua DUAN a Chi Sun POON. *Fresh properties of cement pastes or mortars incorporating waste glass powder and cullet* [online]. [cit. 2017-03-25]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.011. ISBN 10.1016/j.conbuildmat.2016.11.011. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061816317603>
- [19] RASHAD, Alaa M. *A brief on high-volume Class F fly ash as cement replacement – A guide for Civil Engineer* [online]. [cit. 2017-03-26]. DOI: 10.1016/j.ijsbe.2015.10.002. ISBN 10.1016/j.ijsbe.2015.10.002. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212609015000369>
- [20] MIKULČIĆ, Hrvoje, Jiří Jaromír KLEMEŠ, Milan VUJANOVIĆ, Krzysztof URBANIEC a Neven DUIĆ. *Reducing greenhouse gasses emissions by fostering the deployment of alternative raw materials and energy sources in the cleaner cement manufacturing process* [online]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.04.145. ISBN 10.1016/j.jclepro.2016.04.145. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616304346>
- [21] ANTONI, Lucky CHANDRA a Djwantoro HARDJITO. *The Impact of Using Fly Ash, Silica Fume and Calcium Carbonate on the Workability and Compressive Strength of Mortar* [online]. [cit. 2017-03-28]. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.11.132. ISBN 10.1016/j.proeng.2015.11.132. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705815034499>
- [22] WONGKEO, Watcharapong, Pailyn THONGSANITGARN a Arnon CHAIPANICH. *Compressive strength and drying shrinkage of fly ash-bottom ash-silica fume multi-blended cement mortars* [online]. [cit. 2017-03-28]. DOI: 10.1016/j.matdes.2011.11.043. ISBN 10.1016/j.matdes.2011.11.043. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S026130691100803X>
- [23] SINGH, Manpreet, Anshuman SRIVASTAVA a Dipendu BHUNIA. *An investigation on effect of partial replacement of cement by waste marble slurry* [online]. [cit. 2017-04-08]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.155.

ISBN 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.155. Dostupné z:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061816320736>

- [24] ERGÜN, Ali. *Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete* [online]. [cit. 2017-04-08]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2010.07.002. ISBN 10.1016/j.conbuildmat.2010.07.002. Dostupné z:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061810003697>] a
- [25] RESTUCCIA, Luciana, Consuelo SPOTO, Giuseppe Andrea FERRO a Jean-Marc TULLIANI. *Recycled Mortars with C* [online]. [cit. 2017-03-28]. DOI: 10.1016/j.prostr.2016.06.362. ISBN 10.1016/j.prostr.2016.06.362. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2452321616303808>
- [26] PUTHUSSERY, Joseph V., Rakesh KUMAR a Anurag GARG. *Evaluation of recycled concrete aggregates for their suitability in construction activities: An experimental study* [online]. [cit. 2017-04-08]. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.06.008. ISBN 10.1016/j.wasman.2016.06.008. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X16303130>
- [27] JACKIEWICZ-REK, Wioletta, Kamil ZAŁĘGOWSKI, Andrzej GARBACZ a Benoit BISSONNETTE. *Properties of Cement Mortars Modified with Ceramic Waste Fillers* [online]. [cit. 2017-03-28]. DOI: 10.1016/j.proeng.2015.06.199. ISBN 10.1016/j.proeng.2015.06.199. Dostupné z:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705815011534>
- [28] LEDESMA, Enrique Fernández, José Ramón JIMÉNEZ, Jesús AYUSO, José María FERNÁNDEZ a Jorge DE BRITO. *Maximum feasible use of recycled sand from construction and demolition waste for eco-mortar production – Part-I: ceramic masonry waste* [online]. [cit. 2017-04-01]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.084. ISBN 10.1016/j.jclepro.2014.10.084. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614011275>
- [29] LÓPEZ GAYARRE, Fernando, Íñigo LÓPEZ BOADELLA, Carlos LÓPEZ-COLINA PÉREZ, Miguel SERRANO LÓPEZ a Alberto DOMINGO CABO. *Influence of the ceramic recycled aggregates in the masonry mortars properties* [online]. [cit. 2017-04-01]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.021. ISBN 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.021. Dostupné z:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061816319316>
- [30] SAIKIA, Nabajyoti a Jorge DE BRITO. *Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review* [online]. [cit. 2017-04-01]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066. ISBN

- 10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066. Dostupné z:
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061812001432>
- [31] BILIR, Turhan, Osman GENCEL a Ilker Bekir TOPCU. *Properties of mortars with fly ash as fine aggregate* [online]. [cit. 2017-03-28]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.095. ISBN 10.1016/j.conbuildmat.2015.05.095. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095006181500608X>
- [32] SANTAMARÍA-VICARIO, I., A. RODRÍGUEZ, S. GUTIÉRREZ-GONZÁLEZ a V. CALDERÓN. *Design of masonry mortars fabricated concurrently with different steel slag aggregates* [online]. [cit. 2017-03-28]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.164. ISBN 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.164. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061815301859>
- [33] *CEM I 42,5 R: Technický list* [online]. 2016 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <http://www.heidelbergcement.cz>
- [34] *SKELNÁ MOUČKA* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.refaglass.cz/skelnna-moucka/>
- [35] *VINNAPAS® 5044 N (GER)* [online]. 2011 [cit. 2017-05-18]. Dostupné z: <https://www.wacker.com>
- [36] *ČSN EN 1015-3: Zkušební metody malt pro zdivo - Část 3: Stanovení konzistence čerstvé malty (s použitím střešacího stoku)*. Praha: Český normalizační institut, 2000.
- [37] *ČSN EN 12808-5: Lepidla a spárovací malty pro keramické obkladové prvky - Část 5: Stanovení nasákavosti*. Praha: Český normalizační institut, 2009.
- [38] *ČSN EN 1015-11: Zkušební metody malt pro zdivo - Část 11: Stanovení pevnosti zatvrdělých malt v tahu za ohybu a v tlaku*. Praha: Český normalizovaný institut, 2000.
- [39] *46/17 Vyhodnocení Akčního plánu implementace Politiky druhotných surovin ČR a aktualizace úkolů pro období 2017 – 2018* [online]. Hospodářská komora České republiky, 2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.komora.cz>

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ARS	alkalickokřemičitá rakce
WGP	skelný prášek
CDW	konstrukční a demoliční odpad